

CASSIO MARQUES DE VALOIS

**QUALIDADE FÍSICA DE SOLOS DE VINHEDOS SUBMETIDOS
A DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agroecossistemas, no Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientador: Prof. Dr. Jucinei José Comin
Co-orientador: Dr. Milton da Veiga
Co-orientador: Dr. Fernando César Bauer

FLORIANÓPOLIS
2013

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Valois, Cassio Marques de

Qualidade física de solos de vinhedos submetidos a diferentes sistemas de manejo / Cassio Marques de Valois ; orientador, Jucinei José Comin ; co-orientador, Milton da Veiga. - Florianópolis, SC, 2013.

71 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas.

Inclui referências

1. Agroecossistemas. 2. Física do solo. 3. Vinhedo. 4. Compactação. I. Comin, Jucinei José. II. Veiga, Milton da. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas. IV. Título.

Dedico este trabalho aos meus pais.

AGRADECIMENTOS

À minha família, pelo apoio e suporte ao longo de todo este tempo e por tornar possível tudo o que faço.

Ao professor Jucinei José Comin, pela orientação, auxílio e companheirismo nestes anos.

Ao professor Milton da Veiga, um muito obrigado por toda a disponibilidade de tempo, estruturas e por tornar possível este trabalho.

Ao professor Arcângelo Loss, pelo auxílio no trabalho e na banca.

Um obrigado especial ao professor Gustavo Brunetto, pelas orientações ao longo deste tempo e por sempre estar atento e disposto para ajudar.

Ao professor Jackson Adriano Albuquerque e ao doutor Ivan Luiz Zilli Bacic, pelas importantes contribuições na banca.

Ao professor Paulo Emílio Lovato, pelos auxílios e ensinamentos nestes anos.

Ao colega Jadson, do Laboratório de Física do Solo da Epagri, Estação Experimental de Campos Novos, pela companhia e ensinamentos durante as análises.

Aos meus colegas de classe e aos colegas do Laboratório de Ecologia do Solo, obrigado pela amizade, pelo companheirismo e pela ajuda.

À UFSC e à EPAGRI pela disponibilização de infraestrutura, materiais e apoio na pesquisa.

Ao MDA/SAF/CNPq, edital N° 58/2010 pelo auxílio financeiro.

À CAPES pela bolsa de mestrado.

RESUMO

Em vinhedos o tráfego de máquinas agrícolas causa compactação do solo que pode ser mais acentuada nas entrelinhas, por causa da maior intensidade de tráfego. O trabalho objetivou avaliar a variabilidade dos atributos físicos do solo em função da posição de amostragem em relação à linha de plantio, em três vinhedos comerciais da variedade Bordô em pé franco, submetidos a diferentes manejos. Em fevereiro de 2012, três vinhedos foram selecionados no município de Major Gercino (SC), sendo um sem a utilização de máquinas agrícolas (Vinhedo 1: com seis anos de implantação) e dois que utilizam máquinas nas entrelinhas (com oito e 17 anos, respectivamente, vinhedos 2 e 3). Na linha de plantio (Lp), na linha do rodado (Lr) e entre a linha de plantio e a linha do rodado (El) foram coletadas amostras indeformadas de solo nas camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,15, 0,15-0,20 m de profundidade. Avaliou-se a densidade do solo (Ds), a resistência à penetração (Rp), as classes de poros (macroporos-MaP, mesoporos-MeP, microporos-MiP e porosidade total-PT), os índices de agregação e de estabilidade de agregados (Diâmetro médio geométrico dos agregados secos ao ar e estáveis em água-DMGsa e DMGea, índice de estabilidade de agregados-IEA,), a umidade gravimétrica (Ug), a densidade das partículas e a granulometria do solo. Verificou-se aumento do estado de compactação no sentido da Lp para a Lr. A ocorrência de tráfego, em geral, afetou negativamente os atributos avaliados. Dentre as posições de amostragem, os maiores valores de Ds e Rp ocorreram na Lr, onde a Rp atingiu valores críticos ao desenvolvimento de raízes e, nos vinhedos mecanizados, foram encontrados elevados valores de Rp e baixos de MaP nas camadas de 0,00-0,05 e 0,05-0,10 m. Também encontrou-se agregados com maior diâmetro e os menores IEA, o que indica deterioração da qualidade física do solo. No vinhedo 1 houve menor variabilidade dos atributos físicos, enquanto no vinhedo 2 verificou-se influência negativa do tráfego de máquinas principalmente para os atributos relacionados à agregação e elevada MiP. No vinhedo 3 observaram-se os maiores índices de Rp e de Ds, bem como o menor valor de MaP. Portanto, em relação aos vinhedos estudados, verificou-se aumento da degradação física do solo proporcionada pelo tráfego de máquinas (vinhedos 2 e 3) em comparação ao vinhedo 1 (não mecanizado). Dentre as posições de coletas e os vinhedos, por meio da análise de componentes principais evidenciou-se a separação da posição Lr do vinhedo 3, decorrente dos atributos Ds e Rp, permitindo inferir que o manejo adotado na posição

Lr do vinhedo 3 está ocasionando maior degradação da qualidade física do solo.

Palavras-chave: *Vitis labrusca*, Cambissolo, intensidade de tráfego, atributos físicos, análise de componentes principais.

PHYSICAL QUALITY OF VINEYARD SOILS SUBJECTED TO DIFFERENT MANAGEMENT SYSTEMS

ABSTRACT

Agricultural machine traffic causes soil compaction in vineyards, which may be accentuated between the rows due to greater intensity of traffic. The aim of this study was to evaluate the variability of the soil physical properties as a function of the sampling position in relation to the plant row, in three commercial vineyards of the Bordô variety planted directly in the soil, subjected to different management practices. In February 2012, three vineyards were selected in the municipality of Major Gercino, Southern Brazil – one without the use of agricultural machinery (vineyard 1 with six years of age) and two that use machines between the rows (vineyards 2 and 3 with eight and 17 years of age, respectively). Undisturbed soil samples were collected in the crop row, the wheel row and between the crop row and the wheel row, at 0.00-0.05, 0.05-0.10, 0.10-0.15, 0.15-0.20 m depths. We evaluated: bulk density, resistance to penetration, pore classes (macropores, mesopores, micropores and total porosity), aggregation indices and aggregate stability (mean geometric diameter of open-air-dried aggregates and water stable aggregates, aggregate stability index), gravimetric moisture, particle density and particle size distribution in the soil. Compaction increased in the direction from the crop row to the wheel row. The increase in traffic, in general, affected the properties evaluated. Among the sampling positions, the greatest values of bulk density and resistance to penetration occurred in the wheel row, where the resistance to penetration reached critical values for root development. In the mechanized vineyards, high values of resistance to penetration and low values of macropores were found in the 0.00-0.05 and 0.05-0.10 m layers. Aggregates of greater diameter and the lowest aggregate stability index were also found, which indicates deterioration of soil physical quality. In vineyard 1 there was less variability of the physical properties while in vineyard 2 the negative effect of machine traffic was observed, especially for the properties related to aggregation and high micropores. In vineyard 3, greater indices of resistance to penetration and bulk density were observed, as well as the lowest value of macropores. Therefore, in relation to the vineyards studied, an increase in soil physical degradation was observed, caused by machine traffic (vineyards 2 and 3), in comparison to vineyard 1 (non-mechanized). Among the soil collection positions and the vineyards, separation of the

wheel row position of vineyard 3 appeared by means of principal component analysis, stemming from the bulk density and resistance to penetration properties, from which it may be inferred that the management adopted in the wheel row position of vineyard 3 is leading to greater degradation of soil physical quality.

Keywords: *Vitis labrusca*, Cambissolo, machine traffic intensity, physical properties, principal component analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Perfil cultural com a distribuição da pressão causada pelo rodado da máquina agrícola.	13
Figura 2 - Localização da área de estudo, município de Major Gercino (SC).	17
Figura 3 - Perfil de CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico típico. ...	18
Figura 4 - Coleta de amostra de solo com estrutura preservada em anel de aço inox.	20
Figura 5 - Utilização de trado (marteleto) para coleta de amostras indeformadas de solo em anéis de aço inox.	21
Figura 6 – Desenho esquemático dos locais de coleta de amostras de solo.	21
Figura 7 – Perfil cultural da área do vinhedo 3, no detalhe da área de passagem dos pneus das máquinas (Lr).	22
Figura 8 – Amostra preparada e acondicionada para início das análises.	23
Figura 9 – Penetrômetro de bancada.	24
Figura 10 – Interior do equipamento utilizado para determinação da estabilidade de agregados em água.	26
Figura 11 – Provetas utilizadas para determinação da granulometria. ..	27
Figura 12 – Diagrama de ordenação produzido por análise de componentes principais dos dados coletados.	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características químicas e físicas, na camada de 0,00 a 0,20 m, em um Cambissolo Háplico em três vinhedos no município de Major Gercino (SC).	19
Tabela 2 – Atributos físicos de amostras coletadas em três posições em relação à linha de plantio e em quatro profundidades do vinhedo 1, em um Cambissolo Háplico no município de Major Gercino (SC).	30
Tabela 3 - Atributos físicos de amostras coletadas em três posições em relação à linha de plantio e em quatro profundidades do vinhedo 2, em um Cambissolo Háplico no município de Major Gercino (SC).	33
Tabela 4 - Matriz de correlação dos atributos físicos do solo.	34
Tabela 5 – Atributos físicos de amostras coletadas em três posições em relação à linha de plantio e em quatro profundidades do vinhedo 3, em um Cambissolo Háplico no município de Major Gercino (SC).	37

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1 Objetivo Geral.....	3
2.2 Objetivos Específicos.....	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
3.1 A viticultura em Santa Catarina	5
3.2 O solo.....	5
3.2.1 Densidade do solo	7
3.2.2 Densidade das partículas	7
3.2.3 Porosidade.....	8
3.2.4 Resistência à penetração	9
3.2.5 Estrutura do solo	10
3.2.6 Compactação do solo	12
3.2.7 Manejo do solo.....	15
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	17
4.1 Caracterização da área de estudo	17
4.2 Caracterização do estudo.....	20
4.2.1 Coleta das amostras.....	20
4.2.2 Análises dos atributos físicos do solo	22
4.2.3 Estatística	27
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
5.1 Análise dos componentes principais (ACP).....	41
CONCLUSÕES	45
LITERATURA CITADA	46

1. INTRODUÇÃO

O Estado de Santa Catarina (SC) possui a quinta maior área cultivada com videira do Brasil, destacando-se a região do Vale do Rio Tijucas como uma das principais regiões vitivinícolas. Cultivam-se videiras americanas (*Vitis labrusca*) e as uvas são destinadas à elaboração de sucos e vinhos de mesa. Os vinhedos são instalados, predominantemente, em Cambissolos localizados em relevo plano a suave ondulado.

Anualmente, por causa da elevada e constante umidade relativa do ar e temperaturas altas, especialmente durante o período vegetativo e reprodutivo, as videiras são submetidas a contínuas aplicações de fungicidas para o controle preventivo de doenças fúngicas foliares. As aplicações são realizadas usando-se máquinas e equipamentos agrícolas, tais como tratores e pulverizadores, que trafegam nas entrelinhas dos vinhedos, e algumas vezes quando o solo possui teor de umidade acima da capacidade de campo. Isso causa a aproximação das partículas do solo pela pressão dos rodados e, conseqüentemente, pode provocar a compactação do solo nas entrelinhas (Van Dijck & Van Asch, 2002; Lima et al., 2004; Rosa et al., 2009; Braida et al., 2011).

A compactação do solo em entrelinhas de vinhedos (Van Dijck & Van Asch, 2002; Ferrero et al., 2005), citrus (Lima et al., 2004) e pereira (Vocanson et al., 2006), pode modificar os atributos físicos do solo, tais como a densidade do solo, a resistência à penetração, a porosidade, a estabilidade de agregados, a estrutura e o grau de flocculação das argilas (Silva et al., 2006; Echenique et al., 2007; Portugal et al., 2008; Rosa et al., 2009), comparativamente aos atributos físicos na linha de plantio dos pomares, onde não é realizado o tráfego. Entretanto, a modificação dos atributos depende da intensidade do tráfego a que o solo é submetido (Lima et al., 2004; Elaoud & Chehaibi, 2011). Essas alterações reduzem o suprimento de oxigênio e promovem restrições físicas ao crescimento das raízes das plantas, diminuindo o volume de solo explorado e, por consequência, podem reduzir a quantidade de água e nutrientes absorvidos, refletindo negativamente na diminuição da taxa fotossintética, crescimento e rendimento das culturas (De Maria et al., 1999; Beutler & Centurion, 2004; Beutler et al., 2006; Fidalski et al., 2010; Costa et al., 2012; Luciano, 2012).

No Brasil, a maioria dos estudos que abordam a compactação e problemas estruturais de solo, trata de culturas anuais e solos que são revolvidos anualmente, enquanto poucos trabalhos relatam situações de solos não revolvidos sob culturas perenes, como é o caso dos vinhedos

(Reichert et al., 2007). Esses autores consideram que, para uma avaliação confiável e que possibilite a inferência sobre a qualidade física do solo, é necessário determinar de vários atributos físicos em conjunto, evitando que a observação de um deles isoladamente leve a uma interpretação errônea do estado de compactação de determinado solo.

Considerando a constante utilização de tráfego de máquinas agrícolas nas entrelinhas dos vinhedos instalados em Cambissolos, que é uma das classes de solo de maior ocorrência em SC (Embrapa, 1998), o presente trabalho teve como objetivo avaliar a variabilidade dos atributos físicos do solo em função da posição de amostragem em relação à linha de plantio, em três vinhedos comerciais da variedade Bordô em pé franco, submetidos a diferentes manejos.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O trabalho objetivou avaliar a variabilidade dos atributos físicos do solo em função da posição de amostragem em relação à linha de plantio, em três vinhedos comerciais da variedade Bordô em pé franco, submetidos a diferentes manejos.

2.2 Objetivos Específicos

- Determinar os atributos físicos do solo na linha de plantio, entre a linha de plantio e a linha do rodado e na linha do rodado em diferentes profundidades.
- Avaliar em três vinhedos a existência de variabilidade da compactação do solo em diferentes posições e profundidades.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 A viticultura em Santa Catarina

No Brasil se encontram amplamente difundidas as variedades de uvas americanas, pertencentes à espécie *Vitis labrusca*. Esta espécie é amplamente cultivada visando o consumo *in natura* e a produção de sucos, e em menor escala para a produção de vinhos e outras bebidas vínicas (CEPA, 2008). Dentre as variedades da espécie, uma das principais é a Bordô, originária dos EUA, que teve expansão derivada à fácil adaptação à variabilidade de condições edafoclimáticas, à boa produtividade, longevidade e relativa rusticidade (Camargo, 1994). Deste modo, nos vinhedos catarinenses predominam as variedades de origem americana, como Isabel, Niágara e Bordô (Sousa & Martins, 2002).

A vitivinicultura em clima temperado é a mais tradicional no Brasil, representando quase 90% da área de vinhedos. O Estado de Santa Catarina (SC) se destaca no cenário nacional com pelo menos três regiões produtoras de sucos e vinhos de mesa e uma de vinhos finos, com área plantada de 4.985 hectares em 2011 (IBGE, 2013).

Nos últimos anos a produção brasileira e catarinense de uvas européias, americanas e híbridas vem crescendo substancialmente, sendo que em 2008, SC ocupava o segundo lugar em produção nacional de vinhos e contribuía com 4% da produção total de uvas. Um dos pólos tradicionais de produção no Estado é a região de Nova Trento (vale do Rio Tijucas), onde se insere o município de Major Gercino, que tem a economia baseada na fruticultura (CEPA, 2008), e onde esta pesquisa foi desenvolvida.

Em 2009 o Estado se destacava como o sexto em área plantada com videiras, enquanto houve uma tendência de decréscimo de plantio no país, SC apresentou 16% de aumento na produção de uvas em relação ao ano anterior. Assim, esta é uma atividade de importância, tanto para a manutenção da pequena propriedade rural, como também é geradora de empregos em empreendimentos de maior porte, que envolvem o processamento de derivados da uva (Mello, 2009).

3.2 O solo

Existem diversas definições para o termo “solo”, dependendo do ponto de vista do interessado. Para a pesquisa científica, o solo é um

corpo natural, carregado de diversas interações dinâmicas entre a atmosfera e a litosfera, que tem grande influência no clima do planeta e no ciclo hidrológico, tendo ainda a fundamental função de servir como meio de crescimento para uma diversificada comunidade de organismos vivos. O solo é ainda uma fonte de reações bio-físico-químicas, que decompõe e recicla uma grande diversidade de elementos e que auxilia na regeneração da vida no nosso planeta (Hillel, 1998).

O sucesso ou fracasso de projetos agrícolas pode ser determinado pelas propriedades físicas de um solo, pois estas têm influência direta nos ecossistemas em que os solos estão inseridos e ditam o melhor tipo de manejo a ser adotado. É imprescindível compreender que os movimentos de solutos, a presença e multiplicação de microrganismos e as diferentes espécies vegetais estão diretamente relacionados com as propriedades físicas de cada solo (Brady & Weil, 2001).

Em se tratando do meio agrícola, existe sempre a busca por melhores e mais eficientes técnicas de produção, que demandem baixa entrada de energia e tenham produção satisfatória. Para tanto, a saúde das raízes é de extrema importância para um crescimento vigoroso das plantas e uma alta produção e de qualidade, já que são responsáveis pela captura de nutrientes e água do solo. Essa saúde se torna essencial em casos de estresse, como a seca, quando boas condições de solo são necessárias para o desenvolvimento dessas raízes, e que também contribuem para a fração ativa da matéria orgânica do solo, bem como para as populações de bactérias e fungos, a melhoria da agregação e a diminuição da densidade e compactação (Gugino et al., 2009).

Na formação do solo, a estrutura e seu grau de desenvolvimento são importantes características, regendo diversas outras propriedades. Para formar a estrutura, a agregação do solo em módulos estruturais dá-se através de processos biológicos e físico-químicos seguindo uma hierarquia, sendo o primeiro essencial à formação dos macroagregados e o segundo responsável pelos microagregados. Os macroagregados têm menor estabilidade, porém, são de extrema importância por conduzir o fluxo de água e, conseqüentemente, solutos no corpo do solo, bem como facilitar o desenvolvimento radicular e a aeração. É um desafio para a agricultura atual adotar manejos mais inteligentes do solo que preservem este tipo de característica natural de cada local de cultivo (Tisdall & Oades, 1982; Brady & Weil, 2001).

Para Reinert & Reichert (2006) o solo é ideal para o desenvolvimento das culturas quando têm, ao mesmo tempo, boa capacidade de retenção da umidade e aeração, bom suprimento de calor, e ainda, o não impedimento ao crescimento radicular, aos quais os

atributos físicos, densidade, porosidade e resistência à penetração estão intimamente interligados.

3.2.1 Densidade do solo

A densidade do solo (D_s) é a expressão da quantidade de massa do solo seco por unidade de volume, sendo que no volume se incluem os sólidos e os poros. É um atributo que pode ser utilizado como indicador do grau de compactação, bem como de alterações da estrutura e da porosidade do solo. Valores normais de D_s em solos arenosos estão compreendidos entre 1,20 a 1,90 Mg m^{-3} , para solos argilosos entre 0,9 a 1,7 Mg m^{-3} , sendo que o valor médio para solos compactados, com restrição ao crescimento radicular (D_s crítica), encontra-se na faixa de 1,65 mg m^{-3} (arenosos) e 1,45 mg m^{-3} (argilosos) (Reinert & Reichert, 2006).

O valor proposto por Reichert et al. (2003) de D_s crítica para solos com textura média (20 a 55% de argila) foi de 1,55 Mg m^{-3} . Porém, este parâmetro foi considerado um alerta para as mudanças nos atributos físicos de um solo, tendo a D_s restritiva (obtida através de uma relação entre o teor de argila e a densidade crítica) valores superiores, sendo que esta representaria um parâmetro de maior acurácia para determinar a compactação de solos (Reichert et al., 2007).

A D_s é um atributo bastante utilizado em trabalhos para distinguir diferentes sistemas de manejo (Fuentes Llanillo et al., 2006; Silva et al., 2006; Portugal et al., 2008; 2010) e variabilidades dentro de áreas cultivadas (Lima et al., 2004; Abreu et al., 2011; Luciano, 2012), podendo ser um bom indicativo de áreas compactadas (Reichert et al., 2007).

3.2.2 Densidade das partículas

A densidade das partículas (D_p) é a razão entre a massa de sólidos do solo e o volume ocupado pelos mesmos, expressa em Mg m^{-3} . É uma informação necessária para determinações matemáticas, dentre elas, a porosidade total do solo. A D_p tem íntima relação com os constituintes minerais e orgânicos do solo, representando a média da densidade das partículas desses constituintes (Blake & Hartge, 1986). Segundo Hillel (1998), na maior parte dos solos a massa média por unidade de volume de sólidos é de 2,60 a 2,70 Mg m^{-3} . A D_p não varia com o manejo do solo e depende da composição química e mineralógica do mesmo (Reinert & Reichert, 2006).

3.2.3 Porosidade

O espaço poroso, principalmente seu volume, distribuição, continuidade e estabilidade no tempo, está intimamente ligado às características físicas do solo. A textura e a estrutura do solo, em especial, determinam a distribuição do tamanho e a continuidade de poros no perfil do solo, enquanto que a consistência do solo rege a sua estabilidade (Braida et al., 2011).

A porosidade do solo corresponde à percentagem ou fração do solo não ocupado pelas partículas sólidas, incluindo todo o espaço ocupado pela água e pelo ar (Curi, 1993), e é definida como a proporção entre o volume de poros sobre o volume total de uma porção de solo. A porosidade total (PT) é inversamente proporcional à densidade do solo, já que quanto mais denso for o solo menor espaço ter-se-á entre as partículas. São estes espaços de “vazios”, onde circulam no solo o ar, a água e os nutrientes e, portanto, são de extrema importância para o sistema radicular das plantas. Os poros, no tocante do tipo, tamanho, volume e continuidade, são em grande parte regidos pela textura e a estrutura do solo (Reinert & Reichert, 2006).

A PT normalmente é dividida em Macroporosidade (MaP) e Microporosidade (MiP), que correspondem respectivamente ao volume de poros com diâmetro maior e menor do que 0,05 mm (50 μ m). Quanto mais compactado for o solo, menor é a porosidade total e menor a relação entre a MaP e MiP. Os tamanhos de poros (diâmetros equivalentes) podem ser distinguidos quanto à retenção da água, onde a MaP não retém água contra a força da gravidade e a MiP se mantém saturada contra ação da gravidade. Deste modo, fica evidente que a MaP é a maior responsável pela aeração do solo e drenagem interna do perfil, sendo esta necessária numa faixa mínima de 10% para suprir a demanda de oxigênio no solo (Xu et al., 1992). Por outro lado, a MiP é responsável pelo armazenamento de água no solo (Reinert & Reichert, 2006).

A porosidade de aeração do solo é aquela obtida através da subtração do volume dos poros saturados com água da PT do solo (Libardi, 2005). Portanto, é o volume de poros não saturados e que permitem o fluxo dos gases no solo. No entanto, este volume de poros de aeração apresenta volume variável, tanto espacial como temporalmente, sendo dependente das condições climáticas, podendo variar em curtos intervalos de tempo, restringindo o desenvolvimento radicular em algumas camadas, ao mesmo tempo em que podem

permiti-lo em outras. Assim, é bastante dinâmica e complexa a sua determinação (Van Lier, 2001; Klein et al., 2008).

Nem toda água contida nos MiP está disponível às plantas, pois parte dela está ligada no solo em altas tensões. Portanto, o volume de poros que retém água de fácil absorção são os mesoporos (MeP), que têm uma faixa de 50 a 0,5 μm (Veiga, 2011). Para determinação dos MeP, Veiga (2011) adaptou a metodologia da Embrapa (1997), ao aplicar uma tensão de 600 kPa nas amostras para drenar os poros com diâmetros entre 50 e 0,5 μm e mensurar a MeP.

3.2.4 Resistência à penetração

A resistência mecânica do solo à penetração física de um objeto é uma maneira secundária de avaliação da compactação do solo, sendo que essa simula o crescimento radicular, mas está intimamente relacionada com a textura, densidade e conteúdo de água no solo. Para obtenção desse parâmetro é utilizado o penetrômetro, no campo ou em bancada de laboratório (Camargo & Alleoni, 1997; Veiga, 2009). Juntamente com a D_s , é um atributo bastante utilizado para inferir sobre o estado de compactação dos solos (Portugal et al., 2010; Elaoud & Chehaibi, 2011).

A Resistência à penetração (R_p) varia inversamente com a variação da umidade volumétrica do solo (Genro Junior et al., 2004), motivo pelo qual é importante a padronização da umidade quando da conferência deste atributo.

Para diversas culturas os valores acima dos 2 MPa são considerados limitantes para o crescimento das raízes (Taylor et al., 1966; Nesmith, 1987). Para a cultura da videira, solos com horizontes muito duros em baixa profundidade, onde os valores de R_p ultrapassam os 3,0 MPa, reduzem a produção e o crescimento da videira (Echenique et al., 2007), pois os autores determinaram redução no rendimento, na área foliar e na massa de material podado da cultura.

A alta frequência de tráfego dos implementos agrícolas é causa importante da indução da compactação e deterioração da estrutura do solo, onde incrementos na R_p aumentam a energia necessária para o desenvolvimento das raízes das plantas e diminuem o crescimento radicular (Lipiec & Hatano, 2003).

O aumento da R_p em solos cultivados tem sido verificado com a ocorrência de tráfego de máquinas agrícolas, onde há uma tendência de aumento da R_p com o aumento da intensidade do tráfego (Elaoud & Chehaibi, 2011). Além disto, a R_p também é utilizada para comparar

diferentes manejos e locais em sistemas de produção, evidenciando a degradação física de solos submetidos à aplicação de pressão na superfície pelo tráfego de máquinas, como o caso de compactação de pomares (Echenique et al., 2007; Portugal et al., 2008; 2010), reflorestamento (Seixas & Souza, 2007) e culturas anuais (Andrade et al., 2010; Fuentes Llanillo et al., 2006), sendo também associada à um menor crescimento radicular (Costa et al., 2012).

3.2.5 Estrutura do solo

A estrutura do solo é dada pela sua agregação, sendo que um agregado é composto por um grupo de partículas primárias do solo que se ligam com mais força do que com as partículas adjacentes. A estabilidade de agregados é a capacidade das forças coesivas da estrutura daqueles agregados de suportarem forças de ruptura que são aplicadas aos mesmos, enquanto a distribuição do tamanho de agregado corresponde ao grau em que aquelas partículas se encontram agregadas. Diversas são as fontes de forças de ruptura no solo, que podem ser naturais, como a percolação de água pelo agregado, e antrópicas, como operações de cultivo e passagens de máquinas (Kemper & Rosenau, 1986).

O processo de agregação dos solos depende de diversos fatores, tanto bióticos como abióticos. No que concerne aos fatores bióticos, os microrganismos têm grande influência, bem como as plantas e outros organismos vivos no solo, pois produzem diversos compostos que são acumulados no solo e derivados da ação de organismos heterotróficos sobre a matéria orgânica, como polissacarídeos e substâncias húmicas, os quais têm ação física na aproximação das partículas do solo, atuando como ligantes físicos, agregantes ou mesmo cimentantes (Moreira & Siqueira, 2006).

Em solos que se mantêm com cobertura vegetal, as raízes das plantas e as hifas dos fungos (que geralmente encontram-se associados) auxiliam na estabilização dos macroagregados, já que envolvem, entrelaçam e seguram agregados de tamanho menor, formando agregados de tamanho maior, permeando-os. Assim sendo, raízes e outros organismos fúngicos aumentam a estabilização dos agregados do solo. As bactérias também têm grande auxílio com a produção de polissacarídeos, eficientes na melhoria da agregação (Moreira & Siqueira, 2006). Por isso, é importante ressaltar que o revolvimento mecânico do solo destrói o trabalho feito por aqueles organismos, já que rompe tanto raízes, como hifas e os próprios agregados.

Ao encontro do que é elencado por esses autores, Braida et al. (2011) consideram que os macroagregados são de natureza biológica, com a estabilidade dependente de constante adição de resíduos orgânicos, já que com o consumo do material orgânico lábil há diminuição da atividade microbiana e consequente decréscimo na produção de mucilagens, resultando na eventual desestabilização e rompimento do macroagregado pela falta dos resíduos orgânicos. Portanto, à medida que os agregados aumentam, aumenta a importância das hifas, das raízes e da presença da matéria orgânica no solo.

A matéria orgânica contribui na agregação, consistência e na retenção de umidade dos solos, além de aumentar o número de ligações entre as partículas, proporcionando melhores condições à formação e estabilidade de macroagregados (Tisdall & Oades, 1982; Salton et al., 2008; Santos, 2008; Braida et al., 2011).

Tisdall & Oades (1982) propõem a teoria da hierarquia da agregação, onde as partículas menores, argila, silte, cátions e matéria orgânica se ligam entre si através de ligações químicas e/ou físicas. Estas partículas formam então o microagregado, que é a união de inúmeras partículas minúsculas com grande força de ligação. À medida que o agregado vai crescendo, com a adesão de mais partículas e de outros microagregados, outros “ligantes” começam a tomar importância, que são as substâncias excretadas pelas bactérias. Para que mais microagregados se liguem, além das bactérias, os fungos e suas hifas se tornam essenciais, para envolver e manter esses agregados unidos, quando então começam a se formar os macroagregados ($> 250 \mu\text{m}$ de diâmetro), que dependem, não somente dos fungos, mas também das raízes das plantas, que permeiam e seguram esses agregados de tamanho menor, também liberando substâncias colantes, até formarem os grandes agregados ou torrões de solo. Os autores ainda ressaltam que estes macroagregados são dependentes do manejo do solo, que controlam o crescimento das raízes das plantas, e por consequência, das hifas e da população bacteriana.

As ligações entre as partículas do solo podem ser tanto físicas quanto químicas. Em solos de clima temperado as ligações que predominam são as físicas (por atração eletrostática), porém, em solos oxidícos há maior contingência de ligações dos organominerais, onde os organismos e, principalmente, a matéria orgânica também podem ter importância (Braida et al., 2011).

3.2.6 Compactação do solo

No Brasil, a maioria dos estudos que abordam a compactação trata de culturas anuais e solos que são revolvidos anualmente, enquanto que são poucos aqueles que estudam os solos não revolvidos (Reichert et al., 2007), como é o caso dos vinhedos. O manejo das culturas, efetuado com máquinas pesadas e, muitas vezes, sem respeitar as condições favoráveis de umidade do solo, acaba por gerar mudanças na estrutura do mesmo, o que pode acarretar em restrições ao enraizamento e desenvolvimento de algumas culturas (De Maria et al., 1999).

A pressão causada pelo rodado dos tratores e implementos agrícolas no solo (Figura 1) é relatada como a principal causa de alteração de atributos físicos do solo (Klein & Libardi, 2002; Lima et al., 2004; Braida et al., 2011). Adicionalmente, o tráfego e o manejo realizados com máquinas agrícolas alteram atributos do solo, como a densidade, a estrutura e o volume de poros, que acabam por influenciar propriedades físico-hídricas, como a porosidade de aeração, a retenção de água no solo, a disponibilidade de água, além de afetar a resistência do solo à penetração de raízes (Tormena et al., 1998; Sanches et al., 1999; Portugal et al., 2008; Rosa et al., 2009; Elaoud & Chehaibi, 2011).

A compactação é um dos fatores limitantes na produção de diversas culturas anuais (Taylor et al., 1966), decorrente passagem de máquinas agrícolas e de implementos de preparo do solo (Reinert et al., 2008). Esse fenômeno também ocorre em pomares, onde muitos autores determinaram compactação associada ao tráfego de máquinas nas entrelinhas (Van Dijck & Van Asch, 2002; Lima et al., 2004; Ferrero et al., 2005; Vocanson et al., 2006). Esta compactação é condicionada pela aplicação de pressões maiores do que o solo pode suportar sem se deformar, sendo dependente da magnitude da pressão aplicada na superfície, da repetição da aplicação dessa pressão e das características do solo que determinam sua resistência à compactação (Veiga, 2009).

Figura 1 – Perfil cultural com a distribuição da pressão causada pelo rodado da máquina agrícola.



A compactação causa aumento da resistência do solo à penetração das raízes e a redução da aeração, da difusão do calor e da disponibilidade e fluxo da água e, conseqüentemente, da disponibilidade de nutrientes para as plantas. A intensidade dessas alterações depende do tipo de solo, da condição climática, da espécie e do estágio de desenvolvimento da cultura, podendo chegar a índices limitantes ao desenvolvimento das plantas de interesse. Dentre os diversos mecanismos de compactação, o efeito de redução da porosidade traz por consequência a diminuição da permeabilidade à água e do fluxo de ar dentro do solo. Em condição de saturação do solo com água, a difusão do oxigênio fica muito prejudicada, pois sua difusão em meio líquido é muito baixa, o que resulta em deficiência desse gás no ambiente radicular, reduzindo a taxa de respiração e desenvolvimento das raízes e da planta como um todo (Camargo, 1983; Reichert et al., 2007).

O uso intenso da mecanização na agricultura tem causado compactação do solo em muitas lavouras. Sabe-se que um solo compactado não é bem aproveitado pelas plantas, mesmo que tenha boas características químicas, pois o crescimento do sistema radicular fica prejudicado e é através das raízes jovens que ocorre a maior taxa de absorção de nutrientes. Além dessa dificuldade, a compactação traz a diminuição da MaP e, conseqüentemente, redução da quantidade de

oxigênio disponível às raízes, o que tem influência negativa nos processos metabólicos da planta (Queiroz-Voltan et al., 2000).

A compactação é definida como a diminuição do volume do solo ocasionada por compressão, causando um rearranjo mais denso das partículas do solo e consequente redução da porosidade (Curi, 1993). Segundo esse autor, o termo “compactação” é utilizado quando resulta da ação antrópica, enquanto o termo “adensamento” é utilizado para fenômenos naturais de consolidação do solo. Camargo & Alleoni (1997) consideram como forças externas causadoras de compactação o tráfego de veículos, animais, pessoas e o crescimento das raízes, enquanto que as forças internas são os ciclos de umedecimento e secagem do solo, de congelamento e degelo e de expansão e contração.

A compactação causa aumento da resistência do solo à penetração das raízes e a redução da aeração, da disponibilidade e do fluxo da água, do calor e também da disponibilidade de nutrientes para as plantas. A intensidade dessas alterações depende do tipo de solo, da condição climática, da espécie e do estágio de desenvolvimento da cultura, podendo chegar a índices limitantes ao desenvolvimento das plantas de interesse (Camargo, 1983).

Como o volume do solo provém não somente das partes sólidas do solo, a compressão ocorre com a redução do volume de espaços vazios (poros). Assim, a compactação resulta no aumento da densidade do solo, sendo que sua intensidade depende da força aplicada e do conteúdo de água no solo. A força necessária para se compactar um solo de determinada densidade decresce exponencialmente com o aumento da umidade, até certo limite (Bayer et al., 1972). Dentre os diversos mecanismos de compactação, o efeito de redução da porosidade traz por consequência a diminuição da permeabilidade à água e do fluxo de ar dentro do solo.

Assim, o grande número de passagens de tratores e equipamentos agrícolas para o manejo das culturas, pode ser prejudicial ao solo, alterando negativamente seus atributos físicos e químicos na faixa correspondente ao tráfego (Van Dijck & Van Asch, 2002). Em pomares também tem sido verificada heterogeneidade da compactação, com os maiores valores de compressão do solo situados nas entrelinhas das culturas (Van Dijck & Van Asch, 2002; Lima et al., 2004; Rosa et al., 2009; Braida et al., 2011).

3.2.7 Manejo do solo

As pressões exercidas sobre o solo podem ser aliviadas pela presença de matéria seca na superfície (Braida et al., 2006), aumento da atividade biológica e da matéria orgânica do solo (MOS), bem como por ciclos de umedecimento e secagem, que auxiliam na melhoria da estrutura na camada superficial do solo (Reinert et al., 2006). Derpsch et al. (1986) sugerem que não apenas a melhoria do sistema de preparo do solo é necessário para evitar a compactação do mesmo, mas o incremento de resíduos vegetais e, conseqüentemente, da MOS, é de fundamental importância nesse processo, que deve ser complementado com a rotação de culturas e com o uso de plantas de cobertura do solo.

De forma direta ou indireta, a MOS tem forte influência no comportamento físico dos solos. Braida et al. (2011) consideram a grande área superficial específica e a alta quantidade de cargas superficiais como efeitos diretos da sua forte influência nos fenômenos físicos e químicos do solo. Já a promoção de agregação, a consistência, a influência na distribuição do tamanho de poros e a estabilidade do solo são tidos como efeitos indiretos da MOS.

O uso de plantas de cobertura nas entrelinhas da cultura comercial, ou em períodos de entressafra, pode melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo e, conseqüentemente, proporcionar melhoria na qualidade do solo e na produtividade. As plantas de cobertura são recicladoras de nutrientes, aportam resíduos vegetais importantes para os microrganismos do solo, auxiliam na formação e estabilização dos macroagregados e conferem aumento no volume de macroporos (Camargo, 1983; Fageria et al., 2005; Braida et al., 2011).

Uma das mais importantes e penosas tarefas do bom manejo do solo é a de formar e manter na superfície do solo um alto grau de agregação das partículas, que resulta numa diminuição de Ds e aumento da porosidade, beneficiando a agricultura (Brady & Weil, 2001). Em solos sem cobertura vegetal, a desintegração dos agregados pode ocorrer com o impacto das gotas de chuva ou com o preparo do mesmo, sendo que os agregados de menor tamanho são os mais estáveis, enquanto os de maior tamanho estão mais sujeitos as alterações do ambiente e passíveis de se desintegrarem.

Manejos que proporcionem maior resistência de agregados do solo fornecem maior capacidade ao mesmo de resistir a forças externas, como as de compactação, além de maior resistência ao processo de erosão. Agregados estáveis que proporcionem boa estrutura, proverão o

solo com espaços porosos para o bom desenvolvimento e crescimento das raízes, da fauna do solo e ainda o bom suprimento de água e ar (Salton et al., 2008).

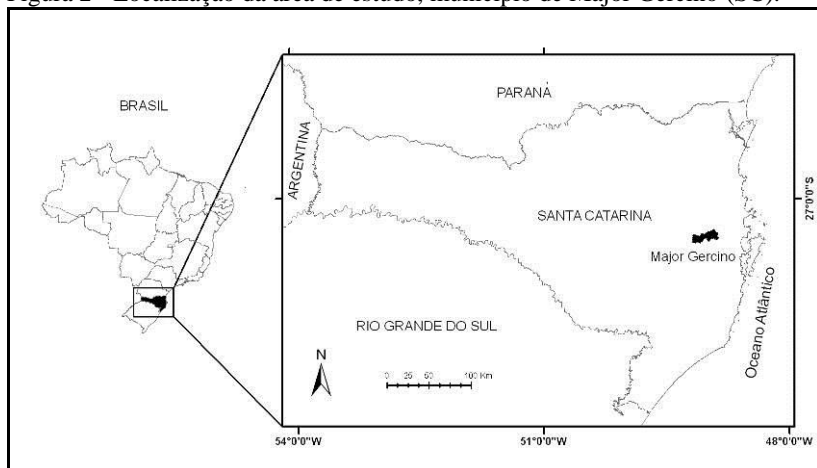
Frente as pressões sofridas pelo solo, o comportamento mecânico desse depende da coesão e do atrito estabelecido entre suas partículas. Esta relação tem influência direta com a presença da MOS, que favorece o maior número de ligações entre as partículas, aumentando a resistência do solo. Esta característica é dada pelo aumento de retenção de água e redução do raio de curvatura dos meniscos que se formam entre as partículas, tendo estes diversos pontos de contato com maior pressão de ligação entre si (Braida et al., 2011).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado no ano de 2012 em três áreas de vinhedos comerciais, no município de Major Gercino (Figura 2), situado no Alto Vale do Rio Tijucas (SC), nas coordenadas geográficas 27°26'42" sul e 49°06'27" oeste (Vinhedo 1), 27°25'16" sul e 49°04'31" oeste (Vinhedo 2), 27°25'18" sul e 49°05'53" oeste (Vinhedo 3), com altitudes de 530 a 545 metros e distância entre os vinhedos de 1,5 a 2,5 km. O clima é temperado úmido, com verões quentes e sem estação seca definida, do tipo Cfa de acordo com a classificação de Köppen e a temperatura média anual é de 20°C, com 1.500 a 1.700 mm de precipitação bem distribuída ao longo do ano (Pandolfo et al., 2002).

Figura 2 - Localização da área de estudo, município de Major Gercino (SC).



O município tem por característica a grande variação de altitude (de 30 a 800 metros), com relevo dissecado, mas onde também ocorrem áreas planas (em planícies aluviais), apresentando três classes predominantes de solo, Litólicos Álicos, o Podzólico Vermelho-Amarelo Álico e o Cambissolo Álico Tb (Embrapa, 1998), que segundo a última classificação de solos (Embrapa, 2006) correspondem a NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico típico, ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico e CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico, respectivamente. No presente estudo,

para padronizar as classes texturais e as características do solo, escolheu-se apenas vinhedos situados sobre a ordem dos Cambissolos em relevo plano.

Os solos dos vinhedos foram classificados como CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico típico, textura média, pouco cascalhento a cascalhento, A moderado, relevo plano, substrato sedimentos recentes de Granito da Suíte Valsungana (Embrapa, 2006) (Figura 3), apresentando os seguintes atributos químicos e físicos durante a realização do estudo conforme disposto na Tabela 1.

Figura 3 - Perfil de CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico típico.



Os vinhedos são compostos pela variedade Bordô (*Vitis labrusca*) em pé franco, implantados nos anos de 2006, 2004 e 1995 (Vinhedos 1, 2 e 3, respectivamente). Anteriormente à implantação desses, as áreas eram cultivadas com fumo (*Nicotiana tabacum*) em sistema de manejo com revolvimento intensivo do solo (aração e gradagem) e uso constante de agrotóxicos e adubações com fertilizantes de síntese química, o que explica a característica de eutrofismo desses solos

(Tabela 1), que originalmente eram classificados como álicos (Embrapa, 1998).

Tabela 1 - Características químicas e físicas, na camada de 0,00 a 0,20 m, em um Cambissolo Háplico em três vinhedos no município de Major Gercino (SC).

	Vinhedo 1	Vinhedo 2	Vinhedo 3
Matéria Orgânica (g kg ⁻¹) ⁽¹⁾	22	22	31
pH - H ₂ O ⁽¹⁾	5,3	6,2	5,9
Índice SMP ⁽¹⁾	5,9	6,5	6,4
P disponível (mg dm ⁻³) ⁽²⁾	29	63	22
K trocável (mg dm ⁻³) ⁽²⁾	172	242	176
Al trocável (cmol _c dm ⁻³) ⁽³⁾	1,1	0,0	0,0
Ca trocável (cmol _c dm ⁻³) ⁽³⁾	3,9	5,6	4,6
Mg trocável (cmol _c dm ⁻³) ⁽³⁾	2,3	2,9	3,2
CTC _{pH 7,0} (cmol _c dm ⁻³)	11,5	11,6	11,0
Saturação por base (%)	58	79	75
Saturação por alumínio (%)	14	0	0
Argila (g kg ⁻¹) ⁽⁴⁾	199	282	284
Silte (g kg ⁻¹) ⁽⁴⁾	199	417	268
Areia (g kg ⁻¹) ⁽⁴⁾	602	301	448
Densidade de partículas ⁽⁴⁾	2,54	2,47	2,62

⁽¹⁾Determinado segundo Tedesco et al. (1995); ⁽²⁾Extraído por Mehlich 1 (Tedesco et al., 1995); ⁽³⁾Extraído por KCl 1 mol L⁻¹ (Tedesco et al., 1995); ⁽⁴⁾Determinado segundo Veiga (2011).

O sistema de condução utilizado nos três vinhedos é do tipo latada, com espaçamento de três metros entre fileiras e dois metros entre plantas. Em todos os vinhedos foram semeadas, sem incorporação, aveia preta (*Avena strigosa*) e ervilhaca (*Vicia sativa*), sendo na senescência os resíduos depositados na superfície do solo. No Vinhedo 1 não é utilizado maquinário agrícola para o manejo, sendo este considerado a área controle. No Vinhedo 2 o tráfego é realizado aproximadamente 20 vezes por ano, com um trator modelo T3025-4 (950 kg de massa total, rodado dianteiro 6.00 x 12 e traseiro 9.5 x 24, com pressão de inflação de 25 e 40 libras, respectivamente) e no Vinhedo 3 o tráfego é realizado

aproximadamente 30 vezes por ano com um trator de rabiças modelo Cultivador Motorizado TC14 Super (433 kg de massa total, rodado 6.00 x 12 com pressão de inflação de 25 libras).

4.2 Caracterização da amostragem e análises realizadas

4.2.1 Coleta das amostras

Para determinar os atributos físicos do solo, foram coletadas amostras com estrutura preservada nos vinhedos (Figura 4) utilizando-se anéis volumétricos de aço inox com 0,05 m de altura e 0,07 m de diâmetro interno, com auxílio de trado (martetele), que insere os anéis no solo com a menor deformação possível do mesmo (Figura 5).

Figura 4 - Coleta de amostra de solo com estrutura preservada em anel de aço inox.



Figura 5 - Utilização de trado (martetele) para coleta de amostras indeformadas de solo em anéis de aço inox.



As coletas foram realizadas em quatro camadas do solo (0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,15; 0,15-0,20 m de profundidade) e em três locais distintos nos vinhedos: na linha de plantio (Lp); na linha do rodado (Lr) (Figura 7); e entre a linha do rodado e a linha de plantio (El), com três repetições por local de coleta (Figura 6).

Figura 6 – Desenho esquemático dos locais de coleta de amostras de solo.

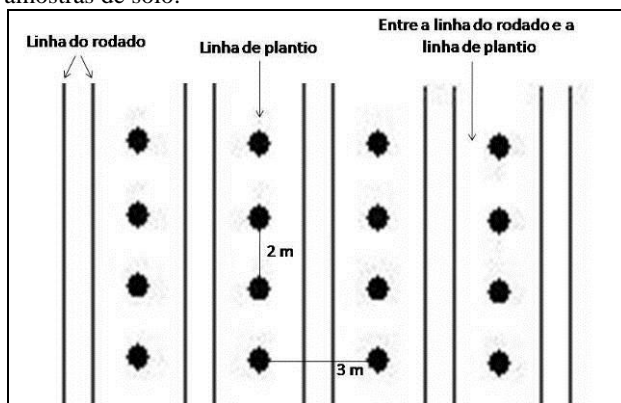


Figura 7 – Perfil cultural da área do vinhedo 3, no detalhe da área de passagem dos pneus das máquinas (Lr).



4.2.2 Análises dos atributos físicos do solo

Após coletadas, as amostras foram acondicionadas e levadas ao laboratório de Física do Solo da EPAGRI/Estação Experimental de Campos Novos, onde foi realizada a limpeza e preparação das mesmas (Figura 8). Foi determinada a densidade do solo (D_s), a resistência à penetração (R_p) com umidade equilibrada na tensão de 600 kPa, a umidade gravimétrica (U_g), a microporosidade (MiP), a mesoporosidade (MeP), a macroporosidade (MaP), a porosidade total (PT), o diâmetro médio geométrico de agregados secos ao ar (DMG_{sa}) e estáveis em água (DMG_{ea}), o índice de estabilidade de agregados (IEA), a densidade das partículas (D_p) e a granulometria, todos de acordo com a metodologia descrita em Veiga (2011) que, por sua vez, adaptou as metodologias descritas em Embrapa (1997) para as condições de análise de rotina.

Figura 8 – Amostra preparada e acondicionada para início das análises.



4.2.2.1 Densidade do solo

Este atributo, bem como a porosidade, é obtido através de cálculos da relação entre massa e volume ocupado pelo solo e pela água equilibrada em diferentes tensões, dentro do anel de aço inox com volume e massa conhecidos. A relação entre a massa no cilindro de solo seco (g), obtido através da secagem do solo em estufa a 105°C até obtenção de peso constante, com o volume interno do anel (cm³) corresponde à densidade do solo (Ds), que foi expressa em Mg m⁻³.

4.2.2.2 Porosidade

Para a porosidade do solo, além da determinação da macro e microporosidade, descritas em Embrapa (1997), foi adicionado a faixa intermediária de melhor absorção de água pelas plantas (Veiga, 2011). Deste modo, foram determinadas três faixas, denominadas macroporos (MaP - Ø > 50µm), mesoporos (MeP - Ø 50-0,5µm) e microporos (MiP - Ø < 0,5 µm), além da porosidade total (PT - soma das três faixas).

Para obtenção destas faixas de poros, inicialmente as amostras foram saturadas lentamente (por capilaridade), pesadas e, após, colocadas sobre a mesa de tensão (em box de areia - obtenção da MaP) com vertedouro regulado a 60 cm da superfície, aplicando a tensão de 6 kPa por 24 horas e pesadas. Em sequência foi aplicada a tensão de 600 kPa em Extrator de Richard até a estabilização da umidade nas amostras, que novamente foram pesadas (obtenção da MeP). A MiP é

obtida através da diferença entre o peso do solo úmido após a tensão de 600 kPa e o peso do solo seco.

Dos diferentes volumes de água mensurados a partir da pesagem, extrai-se o volume de poros em cada faixa de tensão, sendo a PT resultante do somatório das três faixas de porosidade, todas expressas em $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$.

4.2.2.3 Resistência à penetração

Após mensurada a porosidade na condição de umidade correspondente ao último ponto da curva de retenção, equilibrada na tensão de 600 kPa, a resistência à penetração (R_p) foi determinada também nos anéis volumétricos de aço inox com a utilização de um penetrômetro de bancada (Figura 9), com velocidade de penetração constante de 1 mm s^{-1} , sendo o valor expresso em megapascal (MPa). Deste modo, em todas as amostras foi determinada a R_p com a mesma condição de umidade do solo.

Feita a leitura no penetrômetro, foi pesado aproximadamente 20 g do solo para determinar o fator de correção da umidade gravimétrica (U_g) na tensão de 600 kPa para solo seco.

Figura 9 – Penetrômetro de bancada.

Fonte: Veiga (2011).



4.2.2.4 Distribuição de tamanho e estabilidade de agregados

Após determinada a R_p , iniciou-se a análise de distribuição de tamanhos e estabilidades dos agregados, onde foram analisados os agregados secos ao ar e estáveis em água. O solo coletado foi retirado dos anéis e cuidadosamente destorroado, separando-se cuidadosamente os agregados nos planos de fraqueza, até que toda a amostra passasse pela peneira com abertura de malha de 8 mm, então as amostras foram secas ao ar livre e à sombra por cerca de uma semana.

Para determinação da distribuição de tamanho dos agregados secos ao ar foram pesados de 25 a 30 g da amostra e, em seguida, colocadas na sequência de peneiras com 20 cm de diâmetro e 5 cm de altura, com aberturas de malha de: 4,00; 2,00; 1,00; 0,50 mm e; fundo, sequencialmente. Com a amostra nas peneiras foram realizados 12 movimentos de ida e vinda em um sentido, girado o conjunto em 90° e repetidos os movimentos, com a posterior pesagem do material retido em cada peneira e no fundo, onde foi calculado o diâmetro médio geométrico de agregados secos ao ar (DMGsa).

A amostra utilizada acima foi recomposta, com a exclusão do material retido no fundo para determinar a estabilidade dos agregados em água. Para esta determinação foi utilizada a mesma sequência de peneiras acopladas a um oscilador mecânico, com amplitude de oscilação de aproximadamente 4 cm e frequência de oscilação de 30 ciclos por minuto dentro de recipiente com água, similar ao aparelho de Yoder (Figura 10). As amostras foram acondicionadas no fundo da primeira peneira e ficaram em descanso por dez minutos (umedecendo). Decorrido este tempo foi iniciada, por mais 10 minutos, a agitação das peneiras para separação do material e, em seguida, o solo retido nas diferentes peneiras foi seco em estufa a 105 °C e pesado, onde foi calculado o diâmetro médio geométrico de agregados estáveis em água (DMGea).

De posse dos dois valores acima, foi realizado o cálculo do índice de estabilidade de agregados (IEA), através da divisão: DMGea/DMGsa.

Figura 10 – Interior do equipamento utilizado para determinação da estabilidade de agregados em água.



4.2.2.5 Densidade das Partículas do solo

Para determinação da densidade das partículas formadoras do solo foi utilizada uma parte da amostra já deformada com o método do balão volumétrico e álcool, sendo os cálculos em base de massa (Gubiani et al., 2006), que consistiu na determinação do volume de álcool necessário para preencher os espaços vazios de um balão volumétrico contendo a amostra de solo seco em estufa (a 105 °C). Sendo conhecido o volume do balão, o peso do balão com o solo seco, peso do balão com solo e álcool e, volume de álcool, tem-se o volume ocupado pelo solo e seu respectivo peso.

4.2.2.6 Granulometria

Para determinação da distribuição dos tamanhos das partículas do solo, foi utilizado o método da pipeta (Figura 11). Assim as amostras foram dispersas em hidróxido de sódio com duas esferas de *Teflon* agitadas em agitador recíprocante com movimento horizontal. Foram utilizadas provetas de 1000 ml e o peneiramento da fração maior do que 0,05 mm (areia) foi realizado após a coleta da suspensão (argila), onde estas foram secas (a 105 °C) e a fração silte obtida através da diferença em relação a massa total da amostra.

Figura 11 – Provetas utilizadas para determinação da granulometria.



4.2.3 Estatística

Os dados provenientes das análises físicas do solo foram avaliados quanto à homocedastia, pelo teste de Cochran (Snedecor & Cochran, 1989), e distribuição normal dos resíduos, pelo teste de Lilliefors (Campos, 1979). Posteriormente, foram submetidos à análise de variância com aplicação do teste F e os valores médios, quando significativos, comparados entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Não foi necessária nenhuma transformação de dados.

Cada vinhedo foi considerado uma área, sendo os tratamentos considerados os locais de coleta (Lp, El, Lr), com 3 repetições por profundidade.

Também foi realizada uma análise de componentes principais (ACP), por meio do auxílio do programa XLSTAT (Addinsoft®, versão 2013.2 Free), para cada camada avaliada e entre os locais de coleta, cujas variáveis selecionadas foram as que apresentaram correlações de Pearson maiores que 0,6 entre si. A ACP é utilizada para reduzir as dimensões dos dados e, conseqüentemente, facilitar a análise por meio do gráfico do círculo de correlações (Herlihy & McCarthy, 2006).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Atributos físicos do vinhedo 1

No vinhedo 1, onde não se utiliza máquinas, o solo foi influenciado apenas pelo pisoteio (humano) na região compreendida pelas posições El e Lr. Possivelmente devido a isso, estas posições em relação à Lp apresentaram diferenças quanto à Ds, Ug, MaP e PT do solo (Tabela 2).

Para MaP e PT, na profundidade de 0,05-0,10 m, verificaram-se diferenças entre a Lp e a Lr, com maiores valores para Lp e menores para Lr, e valores intermediários para a El. Com maior valor de MaP na Lp, a PT também apresentou o mesmo padrão, pois a MaP é a primeira afetada no processo de compactação (Reichert et al., 2007). Isso também pode ter influenciado a Ug, que foi superior na Lp em relação à Lr. Aparentemente, neste solo a reduzida pressão causada pelo manejo foi suficiente para alterá-la. Em outro estudo em um Cambissolo Háplico em Bento Gonçalves, RS, também se observou redução da MaP na entrelinha em relação à linha de plantio de um vinhedo, mas esta diferenciação ocorreu devido ao tráfego de máquinas agrícolas (Rosa et al., 2009).

Tanto a MeP como a MiP foram menos influenciadas pelo manejo do vinhedo 1, onde mesmo com baixos valores de coeficiente de variação (CV) no solo, a MiP não apresentou diferenças significativas e ambas tiveram pouca variação entre as posições amostradas (Tabela 2).

A Ds foi superior na El em relação à Lp na camada de 0,10-0,15 m, ambas não diferindo da Lr, podendo indicar um manejo para as podas, colheitas e pulverizações com aplicação de forças no solo mais próximas às plantas de videira. No entanto, esses valores não estão dentro da faixa para considerar o solo compactado (Reinert & Reichert, 2006).

Ademais, os valores de MaP são adequados e suficientes para permitir a drenagem do solo em todas as posições, sempre próximos dos $0,200 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (Xu et al., 1992; Van Lier, 2001). Os atributos relacionados à agregação e à estabilidade dos agregados (DMGsa, DMGea e IEA) também foram semelhantes e, mesmo com a ocorrência de CV baixo, não diferiram, indicando que em relação à estrutura do solo, o manejo não causou diferença nos diferentes pontos de amostragem, submetidos ou não à ação antrópica por meio do pisoteio.

Tabela 2 – Atributos físicos de amostras coletadas em três posições em relação à linha de plantio e em quatro profundidades do vinhedo 1, em um Cambissolo Háplico no município de Major Gercino (SC).

Camada	Atributo/ Posição	Ds (Mg m ⁻³)	Rp (MPa)	Ug (m ³ m ⁻³)	MaP (m ³ m ⁻³)	MeP (m ³ m ⁻³)	MiP (m ³ m ⁻³)	PT (m ³ m ⁻³)	DMGsa (mm)	DMGea (mm)	IEA
0,00-0,05 m	Lp ¹	1,21a ²	2,5a	0,425a	0,210a	0,048a	0,256a	0,514a	1,743a	1,310a	0,757a
	El	1,24a	2,9a	0,404a	0,185a	0,042a	0,271a	0,499a	1,810a	1,187a	0,660a
	Lr	1,29a	2,9a	0,400a	0,181a	0,048a	0,286a	0,515a	2,000a	1,370a	0,687a
	CV (%)	3,2	17,3	9,5	12,5	23,2	11,5	6,9	9,8	7,7	8,7
0,05-0,10 m	Lp	1,28a	2,9a	0,391a	0,214a	0,052a	0,233a	0,499a	1,927a	1,110a	0,580a
	El	1,34a	3,3a	0,352ab	0,185ab	0,039a	0,246a	0,470ab	1,860a	1,163a	0,627a
	Lr	1,36a	2,7a	0,331b	0,171b	0,038a	0,241a	0,450b	2,083a	1,207a	0,583a
	CV (%)	3,5	10,8	6,5	9,0	24,3	8,7	3,9	10,0	9,4	12,0
0,10-0,15 m	Lp	1,27b	3,1a	0,396a	0,217a	0,049a	0,237a	0,503a	1,883a	1,030a	0,550a
	El	1,37a	2,9a	0,357a	0,183a	0,039a	0,269a	0,490a	2,057a	1,017a	0,497a
	Lr	1,33ab	2,5a	0,344a	0,184a	0,045a	0,229a	0,458a	1,897a	1,037a	0,557a
	CV (%)	2,5	15,4	7,0	11,5	21,5	8,8	6,0	10,5	8,8	16,0
0,15-0,20 m	Lp	1,30a	2,8a	0,381a	0,199a	0,042a	0,251a	0,493a	1,853a	0,923a	0,497a
	El	1,36a	2,9a	0,351a	0,170a	0,046a	0,260a	0,476a	1,897a	0,843a	0,450a
	Lr	1,32a	2,5a	0,376a	0,174a	0,041a	0,281a	0,496a	2,070a	0,933a	0,460a
	CV (%)	4,6	21,1	5,2	12,1	25,2	12,6	3,83	13,2	11,9	15,4

⁽¹⁾ Lp = Linha de plantio; El = Entre a linha de plantio e a linha do rodado; Lr = Linha do rodado. ⁽²⁾ Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si (Tukey, P < 0,05).

No vinhedo 1, o histórico recente de uso sem tráfego de máquinas (apenas 6 anos) associado ao intenso revolvimento do solo antes da implantação do vinhedo, refletiu diretamente no atributo físico Rp. Todos os valores foram $\geq 2,5$ MPa enquanto nas profundidades de 0,05-0,10 m e 0,10-0,15 m, verificaram-se valores superiores a 3,0 MPa para a El e Lp, respectivamente (Tabela 2), indicando existência de condições restritivas ao desenvolvimento radicular para diversas culturas, inclusive para a videira, respectivamente (Taylor et al., 1966; Echenique et al., 2007).

Dessa forma, no vinhedo 1, devido a ausência de tráfego de máquinas e por ser o vinhedo mais novo, para a maioria dos atributos físicos avaliados não se verificou diferenças nas diferentes posições de amostragem, à exceção da Rp, indicando boa qualidade física do solo.

5.2 Atributos físicos do vinhedo 2

No vinhedo 2, que sofre tráfego de máquinas agrícolas, houve diferenças entre as posições de coleta para a Rp na camada 0,00-0,05 m (mesmo sem diferenças para Ug), onde na Lr verificou-se o maior valor (4,2 MPa), seguido da El (2,9 MPa) e com o menor valor na Lp (1,7 MPa) (Tabela 3). Este atributo evidenciou uma variação do estado físico do solo causado pela pressão dos rodados no local de tráfego, onde o mesmo atingiu valor restritivo ao crescimento radicular (Echenique et al., 2007). Além disso, na Lr observou-se aumento de 11% para a Ds e uma redução de 38% para a MaP em comparação à Lp (Tabela 3). Na posição El, a Rp apresentou valor limitante, mas não restritivo, e na Lp não verifica-se resistência considerada crítica ao desenvolvimento radicular para nenhuma cultura (Taylor et al., 1966; Nesmith, 1987).

Na camada de 0,10-0,15 m a Ds apresentou diferença entre a Lp e a El, com valores intermediários na Lr. O esperado seria essa diferença ocorrer entre Lp e Lr, mas o maior valor foi verificado na El, que pode em certas ocasiões também ter sofrido tráfego e sofre influência deste, devido a proximidade com a Lr e se apresenta mais compactada em relação à Lp.

Para a MeP, somente verificaram-se maiores valores na Lp em relação às outras posições na camada de 0,15-0,20 m. Para as demais camadas não houve diferenças significativas (altos CV) (Tabela 3). Isto pode ser devido a maior destruição da MeP ocasionada pela pressão das máquinas na Lr e El, transformando-a em poros menores, o que é

corroborado pela correlação alta e negativa entre a MeP desta camada com a Rp da camada de 0,00-0,05 m e a Ds na camada de 0,05-0,10 m. Também verificaram-se correlações negativas entre a MeP com a Ds e a Rp para as camadas de 0,0-0,05 e 0,05-0,10 m e, correlações positivas entre Ds e Rp (Tabela 4). Este padrão demonstra o efeito negativo do tráfego de máquinas, acarretando em aumento dos valores de Ds e Rp, com consequências negativas (diminuição dos valores) para a MeP.

A MaP no vinhedo 2 apresentou valores inferiores (proporcionalmente) àqueles encontrados no vinhedo 1, o que pode estar atrelado a diferença granulométrica entre os dois (Tabela 1), ou a redução da MaP devido à compactação do solo causada pelo tráfego no vinhedo 2, o que é corroborado com os valores de correlações (altos e negativos) entre a MaP (0,00-0,05 m) e a Ds e Rp (Tabela 4).

Para a camada de 0,00-0,05 m é possível aferir uma redução de cerca de 30% na MaP da Lr em relação à Lp (Tabela 3), ao mesmo tempo em que esta chega em valor próximo àquele tido como base de volume de poros que se apresentem livres de água para permitir o fluxo de gases no solo (Van Lier, 2001; Klein et al., 2008). Isto em épocas que coincidam o desenvolvimento das videiras com períodos chuvosos, em relevo plano e com a granulometria contendo aproximadamente 70% de silte e argila, pode manter o solo encharcado por tempo demasiado longo, restringindo o desenvolvimento radicular das videiras e consequentemente, podendo prejudicar o rendimento e sanidade do vinhedo.

Tabela 3 - Atributos físicos de amostras coletadas em três posições em relação à linha de plantio e em quatro profundidades do vinhedo 2, em um Cambissolo Háplico no município de Major Gercino (SC).

Camada	Atributo/ Posição	Ds (Mg m ⁻³)	Rp (MPa)	Ug (m ³ m ⁻³)	MaP (m ³ m ⁻³)	MeP (m ³ m ⁻³)	MiP (m ³ m ⁻³)	PT (m ³ m ⁻³)	DMGsa (mm)	DMGea (mm)	IEA
0,00-0,05 m	Lp ¹	1,00a ²	1,7c	0,670a	0,161a	0,085a	0,412a	0,658a	2,543a	1,173a	0,473a
	El	1,00a	2,9b	0,623a	0,170a	0,068a	0,421a	0,658a	2,460a	1,077a	0,440a
	Lr	1,11a	4,2a	0,603a	0,117a	0,060a	0,532a	0,708a	2,393a	1,147a	0,487a
	CV (%)	19,2	8,6	27,0	17,5	38,3	17,8	12,5	9,9	19,0	26,8
0,05-0,10 m	Lp	1,32a	2,9a	0,420a	0,128a	0,090a	0,333a	0,551a	2,637a	0,977a	0,373a
	El	1,31a	3,0a	0,397a	0,151a	0,052a	0,318a	0,521a	2,493a	1,057a	0,423a
	Lr	1,39a	2,7a	0,373a	0,127a	0,040a	0,350a	0,516a	2,597a	0,993a	0,390a
	CV (%)	5,0	13,4	5,9	20,3	49,2	5,85	3,7	8,6	17,0	21,8
0,10-0,15 m	Lp	1,31b	3,2a	0,393a	0,119a	0,073a	0,321a	0,514a	2,603a	0,877a	0,337a
	El	1,40a	3,6a	0,360a	0,124a	0,043a	0,337a	0,504a	2,727a	1,010a	0,377a
	Lr	1,37ab	2,8a	0,377a	0,136a	0,047a	0,338a	0,521a	2,570a	0,933a	0,363a
	CV (%)	1,8	11,4	4,0	19,1	33,3	6,6	2,7	4,4	19,8	20,5
0,15-0,20 m	Lp	1,31a	3,0a	0,410a	0,135a	0,055a	0,341a	0,531a	2,590a	0,800a	0,310a
	El	1,35a	3,0a	0,393a	0,125a	0,041b	0,362a	0,529a	2,407a	0,763a	0,320a
	Lr	1,42a	2,5a	0,360a	0,120a	0,037b	0,345a	0,503a	2,557a	0,700a	0,277a
	CV (%)	6,8	7,8	14,0	35,5	11,1	11,68	7,0	5,9	27,9	33,0

⁽¹⁾ Lp = Linha de plantio; El = Entre a linha de plantio e a linha do rodado; Lr = Linha do rodado. ⁽²⁾ Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si (Tukey, P < 0,05).

Tabela 4 - Matriz de correlação dos atributos físicos do solo.

	Ds20	Rp5	Rp10	PT5	MaP5	MaP10	MaP20	MeP5	MeP10	MeP20	MiP15	DMGea10	DMGea15	Ug5	Ug10	Ug20
Ds5 ¹	-0,40	0,54	0,08	-0,79*	0,01	0,33	0,50	-0,91*	-0,49	-0,23	-0,67*	-0,15	-0,23	-0,77*	-0,55	0,04
Ds10	0,64	0,75*	0,67*	-0,32	-0,86*	-0,69*	-0,44	-0,14	-0,42	-0,73*	0,16	-0,69*	-0,76*	-0,47	-0,83*	-0,55
Ds15	0,68*	0,59	0,46	0,01	-0,64	-0,59	-0,67*	-0,05	-0,41	-0,49	0,48	-0,30	-0,40	-0,06	-0,46	-0,45
Ds20	1	0,46	0,46	0,28	-0,72*	-0,66	-0,70*	0,30	-0,36	-0,58	0,62	-0,35	-0,31	0,07	-0,38	-0,69*
Rp5	0,46	1	0,31	-0,31	-0,72*	-0,33	-0,23	-0,59	-0,69*	-0,75*	0,01	-0,47	-0,55	-0,48	-0,69*	-0,44
Rp10	0,46	0,31	1	-0,48	-0,42	-0,44	-0,27	0,15	-0,12	-0,56	0,08	-0,37	-0,66	-0,41	-0,57	-0,69*
Rp15	0,23	-0,03	0,70*	0,01	-0,16	-0,38	-0,45	0,50	0,32	-0,26	0,34	0,00	-0,46	0,21	0,08	-0,37
Rp20	0,25	-0,48	0,59	0,11	0,10	-0,26	-0,33	0,77*	0,43	0,02	0,34	0,16	-0,09	0,30	0,18	-0,35

*Valores significativos a 5 % (Teste de Pearson). Foram dispostos apenas os atributos que tiveram valores significativos em correlação com a Ds e Rp.

⁽¹⁾Ds5, 10, 15 e 20 = Densidade do solo nas camadas 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m, 0,10-0,15 m e 0,15-0,20 m, respectivamente. Rp5, 10, 15 e 20 = Resistência à penetração nas camadas 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m, 0,10-0,15 m e 0,15-0,20 m, respectivamente. PT5 = Porosidade total na camada 0,00-0,05 m. MaP5, 10 e 20 = Macroporosidade nas camadas 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m e 0,15-0,20 m, respectivamente. MeP5, 10 e 20 = Mesoporosidade nas camadas 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m e 0,15-0,20 m, respectivamente. MiP15 = Microporosidade na camada 0,10-0,15 m. DMGea10 e 15 = Diâmetro médio geométrico de agregados estáveis em água nas camadas 0,05-0,10 m e 0,10-0,15 m, respectivamente. Ug5, 10 e 20 = Umidade gravimétrica nas camadas 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m e 0,15-0,20 m, respectivamente.

A baixa permeabilidade à água e ao ar em solos com predominância da MiP, como no caso do vinhedo 2 que apresenta em todos os locais e profundidades mais de 60% da PT composta pela MiP e chegando a 75% na camada 0,00-0,05 m na Lr (sem a MeP), determina elevada capacidade de retenção de água e prejudica o sistema radicular, devido à escassez de oxigênio às raízes (Dalbó et al., 2011). E, ainda, quando presente em regiões com elevada temperatura e elevados índices de pluviosidade, aumenta a propensão à ocorrência de doenças fúngicas, o que poderá prejudicar ainda mais a produtividade da cultura (Embrapa, 2003).

Em relação ao atributo DMGsa, é possível verificar valores proporcionalmente maiores se comparado com os valores encontrados no vinhedo 1. No entanto, estes maiores agregados secos ao ar não se mantêm estáveis em água. Isso pode estar relacionado ao efeito do tráfego sobre a estrutura do solo, onde os agregados naturais são destruídos e ocorre aumento daqueles formados por efeito de compactação, os quais são menos estáveis, fato evidenciado pelo menor IEA, que não chegou a ficar com 50% dos agregados secos ao ar estáveis em água (Tabela 3) (Carpenedo & Mielniczuk, 1990; Albuquerque et al., 2005; Salton et al., 2008). Ao passo que no vinhedo 1 encontraram-se IEA superiores a 60%, com destaque para a camada superficial do solo (Tabela 2)

Portanto, no vinhedo 2, tem-se a formação de agregados maiores devido à destruição de agregados naturais pela compactação causada pelo tráfego, que forma agregados de maior tamanho (Bronick & Lal, 2005). Este comportamento pode ser explicado pela aproximação das partículas causada pela pressão das máquinas agrícolas, resultando em agregados maiores (maiores índices de DMGsa), porém, sem o processo de estabilização desses, já que apenas a entrada de água é suficiente para desestabilizá-los (DMGea consideravelmente menor no vinhedo 2, proporcionalmente aos valores verificados para o vinhedo 1). Isso porque, não se formaram pela ação dos agentes cimentantes permanentes e temporários, que estão ligados aos processos biológicos de formação e estabilização desses agregados (Tisdall & Oades, 1982; Carpenedo & Mielniczuk, 1990; Salton et al., 2008).

A correlação alta e negativa entre Ds (0,05-0,10m) com DMGea (0,05-0,10 e 0,10-0,15 m) (Tabela 4) corrobora o efeito negativo do tráfego de máquinas, acarretando no aumento dos valores de Ds e diminuição do valores de DMGea.

5.3 Atributos físicos do vinhedo 3

Para o vinhedo 3 verificou-se efeito significativo das posições de amostragem sobre os atributos Ds e Rp nas camadas de 0,00 a 0,10 m, com valores variando entre 0,70 a 1,49 Mg cm⁻³ para a Ds e, entre 1,51 a 4,50 MPa para a Rp (Tabela 5). Os maiores valores de Ds foram encontrados na posição de coleta Lr, mesmo local onde também foram observados os maiores valores para Rp, demonstrando alta correlação entre esses dois atributos (Tabela 4), consequência da maior intensidade do tráfego de máquinas associado ao maior tempo de implantação desse vinhedo. Também se verificou correlação negativa da PT com a Ds na camada superficial do solo (Tabela 4) e não foram verificadas diferenças estatísticas entre as posições de coleta para PT, o que pode ser decorrente do alto CV na camada de 0,00-0,05 m se comparado com as demais camadas, mesmo sem apresentar diferenças na PT (0,00-0,05 m), observou-se uma redução de 30% na Lr em relação a Lp, o que corrobora com os maiores valores de Ds e Rp na Lr.

Na camada superficial, a Ds foi maior na Lr e menor na El, enquanto na camada 0,05-0,10 m a El não diferiu das demais, onde esta posição é intermediária à Lp (que sofreu menor alteração dos atributos físicos) e a Lr (mais alterada). Este é o padrão observado nos vinhedos que sofrem tráfego de máquinas agrícolas. A Rp, que tem alta e positiva correlação com a Ds, evidenciou a variação ocorrida no solo na posição Lr, apresentando valor acima de 100% superior às posições El e Lp, que não diferiram entre si. O mesmo padrão pode ser visto em conjunto com a Ug, que não apresentou diferenças (alto CV) na camada superior, mas apresentou valor na Lr 44% menor do que na Lp (Tabela 5).

Ao estudar um Cambissolo Húmico com 443 g kg⁻¹ de argila sob diferentes usos em Lages, SC (com e sem preparo do solo), Andrade et al. (2010) observaram valores de Ds entre 1,13 e 1,38 Mg cm⁻³, com os maiores valores a uma profundidade próxima dos 0,15 m. A Rp nesse solo acompanhou o aumento da Ds, com valores entre 0,13 a 1,54 MPa, confirmando a boa relação entre estes parâmetros para inferir sobre as condições para o crescimento radicular. Em outro estudo em um Cambissolo Háplico em Bento Gonçalves, RS, também se observou na entrelinha em relação à linha de plantio em um vinhedo, alteração em atributos físicos, como aumento da Ds na entrelinha, decorrente do tráfego de máquinas agrícolas (Rosa et al., 2009).

Tabela 5 – Atributos físicos de amostras coletadas em três posições em relação à linha de plantio e em quatro profundidades do vinhedo 3, em um Cambissolo Háplico no município de Major Gercino (SC).

Camada	Atributo/ Posição	Ds (Mg m ⁻³)	Rp (MPa)	Ug (m ³ m ⁻³)	MaP (m ³ m ⁻³)	MeP (m ³ m ⁻³)	MiP (m ³ m ⁻³)	PT (m ³ m ⁻³)	DMGsa (mm)	DMGea (mm)	IEA
0,00-0,05 m	Lp ¹	0,96b ²	2,0b	0,675a	0,203a	0,082a	0,352a	0,637a	2,017a	1,550a	0,773a
	El	0,70c	1,5b	0,615a	0,175a	0,112a	0,389a	0,676a	2,150a	1,510a	0,710a
	Lr	1,24a	4,3a	0,378a	0,116a	0,064a	0,285a	0,465a	2,387a	1,317a	0,553a
	CV (%)	8,9	20,7	39,5	28,6	47,7	36,6	23,0	7,3	19,5	23,3
0,05-0,10 m	Lp	1,25b	3,0b	0,422a	0,175a	0,064a	0,280a	0,519a	2,330a	1,533a	0,657a
	El	1,34ab	3,5b	0,382a	0,138a	0,059a	0,315a	0,511a	2,280a	1,117a	0,497a
	Lr	1,49a	4,5a	0,308a	0,109a	0,046a	0,302a	0,456a	2,407a	0,887a	0,370a
	CV (%)	7,0	8,6	18,3	25,3	15,9	7,4	9,5	9,3	24,2	25,6
0,10-0,15 m	Lp	1,33a	3,9a	0,367a	0,138a	0,057a	0,285a	0,480a	2,310a	1,033a	0,450a
	El	1,34a	3,5a	0,385a	0,129a	0,047a	0,333a	0,509a	2,587a	1,053a	0,410a
	Lr	1,40a	4,2a	0,346a	0,120a	0,068a	0,295a	0,483a	2,450a	0,720a	0,293a
	CV (%)	8,9	17,0	21,6	31,2	45,1	8,0	12,1	6,8	34,2	36,6
0,15-0,20 m	Lp	1,33a	3,3a	0,354a	0,148a	0,047a	0,276a	0,471a	2,393a	1,113a	0,460a
	El	1,41a	3,6a	0,348a	0,132a	0,041a	0,316a	0,489a	2,470a	0,893a	0,363a
	Lr	1,40a	3,3a	0,326a	0,126a	0,030a	0,300a	0,455a	2,657a	0,903a	0,340a
	CV (%)	5,4	14,5	6,7	14,5	50,0	9,2	4,2	9,4	35,4	33,1

⁽¹⁾Lp = Linha de plantio; El = Entre a linha de plantio e a linha do rodado; Lr = Linha do rodado. ⁽²⁾Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si (Tukey, P < 0,05).

De acordo com o valor de D_s crítica proposta por Reichert et al. (2003) de $1,55 \text{ Mg m}^{-3}$ para solos com textura média (20 a 55% de argila), os valores verificados na Lr do vinhedo 3, bem como na Lr do vinhedo 2 (ambos para a camada de 0,05-0,10 m) causam problemas para o crescimento radicular, o que também foi verificado por Suzuki (2005), em um Argissolo Vermelho Distrófico latossólico (278 g kg^{-1} de argila, 331 g kg^{-1} de silte, 391 g kg^{-1} de areia), em Alto das Canas (RS), causando redução no crescimento radicular da soja.

Juntamente a estes valores, é importante salientar que os valores de R_p observados no solo do vinhedo 2 (Tabela 3) e no solo do vinhedo 3 (Tabela 5), foram superiores a $3,0 \text{ MPa}$ na posição Lr, sendo considerados limitantes ou mesmo restritivos ao crescimento radicular da videira e das plantas de cobertura (Taylor et al., 1966; Nesmith, 1987; Meroto Jr. & Mundstock, 1999; Echenique et al., 2007).

Esta limitação ainda poderá ser maior ou menor dependendo da umidade do solo, como exposto por Genro Junior et al. (2004) que verificaram diferentes valores de R_p ao realizarem amostragens em um Latossolo em Ijuí, RS, os quais variaram inversamente com a umidade volumétrica do solo, o que também foi verificado no presente trabalho (valores inversamente proporcionais entre a R_p e a U_g , Tabela 4).

Somado a isto, evidencia-se a degradação física mais acentuada na Lr, ao observar-se o decréscimo da MaP , chegando a ordem de 30-40% entre as posições L_p e L_r , mas que não foram diferentes estatisticamente devido ao alto CV. Também a MeP apresentou altos CVs no vinhedo 3, não apresentando diferenças, enquanto a MiP (com exceção da camada 0,00-0,05 m) teve CVs menores, mas os valores mostraram-se semelhantes entre os locais de coleta.

Bem como os valores de D_s e MaP , os valores de R_p detectados na Lr dos vinhedos 2 e 3 podem afetar negativamente a cultura da videira, conforme observado por Echenique et al. (2007), que determinaram redução na produção, área foliar e material podado, em videiras cultivadas em um terraço fluvial no Alto Valle do Rio Negro (Argentina), com R_p superior a $3,0 \text{ MPa}$, em baixas profundidades (0,35 m ou menos). Deste modo, o vinhedo 3 na camada 0,05-0,10 m, mesmo na posição L_p apresenta elevados valores de R_p , demonstrando a elevada condição deste atributo no solo, que pode afetar negativamente o crescimento radicular e, consequentemente, a produção das videiras.

No vinhedo 3, onde o solo sofreu maior tráfego, foram observados valores intermediários aos vinhedos 1 e 2 para DMG_s , DMG_e e IEA, o que pode estar relacionado ao maior teor de matéria orgânica (MOS), comparativamente ao solo dos demais vinhedos

(Tabela 1), aumentando o tamanho dos agregados estáveis em água. Esses maiores teores de MOS são decorrentes do uso das plantas de cobertura (aveia e ervilhaca) que devido ao maior tempo de implantação do vinhedo 3, favorece o aumento dos teores de MOS em comparação aos demais vinhedos. Dessa forma, os maiores teores de matéria orgânica contribuem na agregação, consistência e na retenção de umidade dos solos, além de aumentar o número de ligações entre as partículas, proporcionando melhores condições à formação e estabilidade de macroagregados (Tisdall & Oades, 1982; Salton et al., 2008; Santos, 2008; Braida et al., 2011). Neste caso, apesar do tráfego sofrido, os maiores teores de MOS associados ao sistema radicular das plantas de cobertura pode ter auxiliado na redução desta ação negativa do tráfego nos agregados e os manteve mais estáveis (em relação ao vinhedo 2), fato evidenciado pelo IEA, que apresenta valores mais similares ao vinhedo 1.

Entre os vinhedos, o vinhedo 1 apresentou maiores valores de MaP em todas as camadas amostradas, proporcionalmente aos demais vinhedos. O vinhedo 1 não sofreu tráfego e, por isso, não sofreu intensa diminuição da MaP pela pressão exercida pelos rodados na superfície, que é a faixa de porosidade mais responsável pela infiltração de água e aeração, já que é a primeira afetada no processo de compactação, com aumento relativo da MiP (Reichert et al., 2007).

Tanto o solo do vinhedo 2 como o do vinhedo 3 apresentaram redução nos volumes de MaP proporcionalmente ao vinhedo 1, com valores que servem de alerta, principalmente na Lr. Associado a isso, a Rp ficou próxima ou acima de 3,0 MPa na maioria das observações e a MaP próxima do volume mínimo crítico para a aeração do solo, de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (Xu et al., 1992). Estes resultados corroboram com os descritos por Beutler et al. (2006) em um Latossolo Vermelho com 330 g kg^{-1} de argila, em Jaboticabal (SP), onde as passadas de tratores causaram alterações no diâmetro dos poros. No entanto, o aumento do número de passadas causou menor efeito nessas mudanças, pois os macroporos são menos resistentes e, ao se deformarem, formam poros de menor diâmetro, que são menos alterados com a aplicação de pressões sucessivas.

Como o sistema radicular da videira pode atingir grandes profundidades e, durante a brotação e floração/frutificação, demandar alta concentração de O_2 , esta pode necessitar valores mínimos de porosidade de aeração, de cerca de $0,20 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (Van Lier, 2001), o que

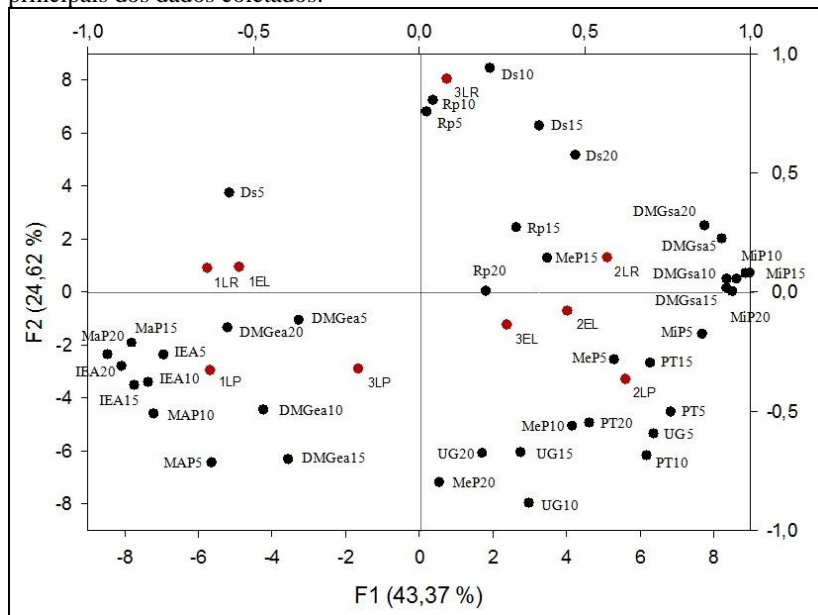
poderia retardar o crescimento radicular nas camadas mais profundas, por causa da baixa difusão do ar no interior do solo.

Também foi observada correlação alta e negativa entre os valores de Ds e os valores de MaP e entre Rp e MaP, onde os valores de Rp no vinhedo 1 (na Lp e El), no vinhedo 2 e 3 (todas as posições), de MaP no vinhedo 2 (na El e Lr) e no vinhedo 3 (na Lr) e Ds no vinhedo 2 e 3 (Lr) podem ser considerados restritivos ao crescimento radicular, tanto pela resistência ao crescimento das raízes, quando o solo se encontra mais seco, como pela deficiência de O_2 , quando o solo poderá estar mais úmido.

5.4 Análise dos componentes principais (ACP)

A distribuição das variáveis analisadas na ACP encontra-se na Figura 12, com variância acumulada de 67,99% (eixos F1 e F2), sendo deste total, maior efeito expresso pelo eixo F1 (43,37%).

Figura 12 – Diagrama de ordenação produzido por análise de componentes principais dos dados coletados.



(1) 1LP, EL, LR = vinhedo 1 nas posições linha de plantio, entre a linha do rodado e a linha de plantio e linha do rodado, respectivamente. 2 LP, EL, LR = vinhedo 2 nas posições linha de plantio, entre a linha do rodado e a linha de plantio e linha do rodado, respectivamente. 3 LP, EL, LR = vinhedo 3 nas posições linha de plantio, entre a linha do rodado e a linha de plantio e linha do rodado, respectivamente. Ds5, 10, 15 e 20 = Densidade do solo nas camadas 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m, 0,10-0,15 m e 0,15-0,20 m, respectivamente. Rp5, 10, 15 e 20 = Resistência à penetração nas camadas 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m, 0,10-0,15 m e 0,15-0,20 m, respectivamente. PT5, 10, 15 e 20 = Porosidade total nas camadas 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m, 0,10-0,15 m e 0,15-0,20 m, respectivamente. MaP5, 10, 15 e 20 = Macroporosidade nas camadas 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m, 0,10-0,15 m e 0,15-0,20 m, respectivamente. MeP5, 10, 15 e 20 = Mesoporosidade nas camadas 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m, 0,10-0,15 m e 0,15-0,20 m, respectivamente. MiP5, 10, 15 e 20 = Microporosidade nas camadas 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m, 0,10-0,15 m e 0,15-0,20 m, respectivamente.

DMGsa5, 10, 15 e 20 = Diâmetro médio geométrico de agregados secos ao ar nas camadas 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m, 0,10-0,15 m e 0,15-0,20 m, respectivamente. DMGea5, 10, 15 e 20 = Diâmetro médio geométrico de agregados estáveis em água nas camadas 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m, 0,10-0,15 m e 0,15-0,20 m, respectivamente. IEA5, 10, 15 e 20 = Índice de estabilidade dos agregados nas camadas 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m, 0,10-0,15 m e 0,15-0,20 m, respectivamente. UG5, 10, 15 e 20 = Umidade gravimétrica nas camadas 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m, 0,10-0,15 m e 0,15-0,20 m, respectivamente.

Por meio da ACP verificou-se que o vinhedo 1 separou-se dos demais, formando um agrupamento das posições de coleta, principalmente devido aos atributos MaP, IEA e DMGea que ficaram todos em um mesmo quadrante, sendo a maior ênfase desses atributos dada à posição de Lp em comparação às posições Lr e El, que apresentaram maior proximidade do atributo Ds (0,00-0,05 m). Este padrão indica que nas posições de Lr e El, por serem aquelas que sofrem maior pisoteio para os tratos culturais dos vinhedos, apresentam maiores valores de Ds, corroborando com os dados apresentados na Tabela 2. Para os atributos relacionadas à posição Lp (MaP, IEA e DMGea), verifica-se que os mesmos remetem às boas e desejadas características físicas do solo, por promoverem a drenagem e representarem a melhor agregação do solo do vinhedo 1 em relação aos vinhedos 2 e 3.

Na posição Lp do vinhedo 1, a maior influência foi atribuída aos atributos IEA e MaP, portanto demonstrando neste local (e mesmo o vinhedo) características desejadas de um solo com boa qualidade física, e, através desta, diferenciando o manejo realizado no vinhedo 1, que sofreu menor alteração dos seus atributos físicos em relação aos demais vinhedos.

Próximo ao grupamento das posições do vinhedo 1 tem-se a posição Lp do vinhedo 3. Esta aproximação é decorrente do atributo DMGea ao longo das camadas analisadas, o que pode estar relacionado ao maior teor de MOS, comparativamente ao solo dos demais vinhedos (Tabela 1), mantendo o tamanho dos agregados estáveis em água, com valores similares entre o vinhedo 1 e 3, conforme verificado nas Tabelas 2 e 5, respectivamente.

No entanto, no vinhedo 3 a posição Lr destacou-se das demais posições do próprio vinhedo, assim como dos vinhedos 1 e 2, devido aos atributos Rp (camadas de 0,00 a 0,10 m) e Ds (camadas de 0,10 a 0,20 m). Este vinhedo é o que tem a maior intensidade de tráfego e há mais tempo sujeito a ele, corroborando com os valores dispostos na

Tabela 5, de maior valor de Ds e Rp, críticas ao desenvolvimento da videira (Echenique et al., 2007).

A mesma posição (Lr) no vinhedo 2 também aproximou-se de atributos que remetem à degradação física do solo, principalmente a Rp (0,15-0,20 m), a MeP (0,10-0,15 m), a MiP (0,10-0,20 m) e o DMGsa (0,00-0,20 m), e distanciou-se de atributos tais como o DMGea e o IEA, o que indica a formação de agregados maiores pela destruição dos agregados formados naturalmente pela compactação causada pelo tráfego, que forma agregados de maior tamanho (Bronick & Lal, 2005). Porém, estes agregados maiores não são resistentes às forças de desagregação em água, fato evidenciado pela maior distância do DMGea e o IEA da posição Lr do vinhedo 2, e, conseqüentemente maior aproximação da posição Lp do vinhedo 1. Este padrão corrobora com o que foi encontrado nas Tabelas 2 e 3 para os vinhedos 1 e 2, relacionados aos índices DMGea e IEA. Isto também confere uma elevação do valor da MiP, devido a pressão exercida pelos rodados na superfície, degradando a MaP, que é a primeira afetada no processo de compactação, resultando em aumento relativo da MiP (Reichert et al., 2007).

Além dos atributos acima, as posições Lr e El do vinhedo 2 e El do vinhedo 3 ficaram mais próximas do atributo Rp (0,10-0,15 e 0,15-0,20 m) do que a Lr do vinhedo 3, bem como também estão mais próximas dos atributos PT, MeP, MiP e DMGsa, que por sua vez, excluindo a MeP, inferem em uma qualidade física mais depreciada dos vinhedos 2 e 3, em comparação ao vinhedo 1.

A posição Lp do vinhedo 2, se diferenciou das demais principalmente em relação à PT, à MeP e à Ug. No entanto, bem como o caso da posição Lp do vinhedo 3, isto está mais condicionado a uma característica inerente ao solo do vinhedo do que causada pelo manejo, pois o solo do vinhedo 2 apresenta valor mais elevado de silte e argila (Tabela 1), portanto causando uma diferenciação granulométrica em relação aos vinhedos 1 e 3.

As máquinas utilizadas nos vinhedos 2 e 3 aparentam não ter causado expressivas diferenças entre si quanto à deterioração do solo, mas há possibilidade de maior restrição no vinhedo 3, devido ao maior tempo de uso e maior intensidade de tráfego, como também observado por Elaoud & Chehaibi (2011), que mensuraram maior compactação do solo em função da maior intensidade de tráfego. Mas é possível afirmar que nos vinhedos 2 e 3, principalmente em relação a posição Lr, e mesmo na El, que houve a degradação física desses solos, proveniente do intensivo uso de máquinas agrícolas.

Dentre as posições de coletas e os vinhedos estudados, evidenciou-se, por meio da ACP, a separação da posição Lr do vinhedo 3 decorrente dos atributos Ds e Rp. Assim, pode-se inferir que o manejo adotado no vinhedo 3 na posição Lr está ocasionando uma maior degradação da qualidade física do solo quando comparado aos demais vinhedos.

CONCLUSÕES

Houve maior estado de compactação do solo no sentido da linha de plantio para a linha do rodado, com maiores alterações nos atributos Ds e Rp, além de elevada heterogeneidade (maior CV) na maioria dos atributos físicos avaliados entre as posições de coleta.

Foram observados maiores valores de Rp e baixos de MaP principalmente na Lr dos vinhedos 2 e 3, nas camadas de 0,00-0,05 m e 0,05-0,10 m de profundidade, onde a Rp atingiu valores críticos ao desenvolvimento de raízes.

Observam-se agregados com maior diâmetro nos vinhedos mecanizados, mas estes apresentam menores índices de estabilidade, demonstrando deterioração da qualidade física do solo.

No vinhedo 1, devido a ausência de tráfego de máquinas, mesmo sendo o vinhedo mais novo, a maioria dos atributos físicos avaliados não aponta variabilidades (diferenças) nas diferentes posições e, ainda, com a exceção da Rp, não apresenta nenhum atributo com valor que indique a má qualidade física do solo.

No vinhedo 2 o tráfego de máquinas ocasionou redução dos atributos de agregação e estabilidade de agregados e afetou a MiP (perfazendo a maior parte da PT), demonstrando qualidade física deteriorada.

No vinhedo 3 o tráfego de máquinas também proporcionou deterioração da qualidade física, sendo observados os maiores índices de Rp e de Ds, bem como o menor de MaP, apesar do mais elevado teor de MOS, que auxiliou na melhor manutenção de estabilidade de agregados.

Por meio da ACP foi possível evidenciar degradação física do solo entre o vinhedo 1 (não mecanizado) e os vinhedos 2 e 3 (mecanizados). No vinhedo 1 verificou-se o predomínio dos atributos MaP, IEA e DMGea, indicando melhores condições físicas do solo. No vinhedo 2 tem-se a degradação devido aos atributos DMGs, MiP e Rp, e no vinhedo 3 a degradação está mais expressa pelos atributos Ds e Rp.

A ACP evidenciou a separação da posição Lr do vinhedo 3 das demais posições e vinhedos, decorrente dos atributos Ds e Rp. Assim, pode-se inferir que o manejo adotado no vinhedo 3 na posição Lr está ocasionando em maior degradação da qualidade física do solo.

REFERÊNCIAS

ABREU, T. B.; DANTAS, T. B.; SANTOS, A. P.; COSTA, Z. V. B.; COSTA, C. L. L. Influência do manejo sobre alguns atributos físicos do solo, após três, cinco e dez anos de cultivo com melão (*Cucumis melo* L.). R. Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável. v. 6, n. 3, p. 51 – 57, julho/setembro, 2011.

ADDINSOLFT. XLSTAT statistical analysis software. Version 2013.2. Disponível em: <www.xlstat.com>. Acesso em: 10 de Jul. 2010.

ALBUQUERQUE, J.A.; ARGENTON, J.; BAYER, C.; WILDNER, L.P.; KUNTZE, M.A.G. Relação de atributos do solo com a agregação de um Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de verão para cobertura do solo. R. Bras. Ci. Solo, v. 29, n.3, p. 415-424, 2005.

ANDRADE, A.P.; MAFRA, A.L.; BALDO, G.R.; PICCOLLA, C.D.; BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J.A. Physical properties of a Humic Cambisol under tillage and cropping systems after 12 years. R. Bras. Ci. Solo, v. 34, p. 219-226, 2010.

BAYER, L. D.; GARDNER, W. H.; GARDNER, W. R. SOIL PHYSICS. John Wiley & Sons Inc. New York, EUA. 1972. 529 p.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; CENTURION, M.A.P.C.; SILVA, A.P. Efeito da compactação na produtividade de cultivares de soja em latossolo vermelho. R. Bras. Ci. Solo, v. 30, p. 787-794, 2006.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F. Soil compaction and fertilization in soybean productivity. Sci. Agric., v. 61, p. 626- 631, 2004.

BLAKE G.R.; HARTGE K.H. Particle Density. In. KLUTE, A. Ed. Methods of soil analysis – Part 1 – Physical and Mineralogical Methods. Second Edition. Madison: Am. Society of Agronomy, p. 377-382 (Agronomy, 9), 1986.

BRADY, N.C.; WEIL, R.R. The Nature and Properties of Soils. 13^a edição, Canadian: Prentice Hall, 2001. 960 p.

BRAIDA J.A.; BAYER C.; ALBUQUERQUE A.; REICHERT J.M. Matéria Orgânica e Seu Efeito na Física do Solo. In: KLAUBERG FILHO, O. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG, Sociedade Bras. Ci. do Solo, v. 7. p. 221-278, 2011.

BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; VEIGA, M.; REINERT, D. J. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio Proctor. R. Bras. Ci. Solo, v. 30, n. 4, p. 605-614, 2006.

BRONICK, C.J.; LAL, R. Soil structure and management: A review. Geoderma, v. 124, p. 3-22, 2005.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. Compactação do solo e o desenvolvimento de plantas. Piracicaba: ESALQ, 1997. 132p

CAMARGO, O. A. Compactação do solo e desenvolvimento de plantas. Campinas, Fundação Cargill, 1983. 44p.

CAMARGO, U.A. Uvas do Brasil. Embrapa. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Uva e Vinho – SPI, 1994. 90 p.

CAMPOS, H. Estatística experimental não paramétrica. 3ª ed. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1979. 373 p.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. R. Bras. Ci. Solo, v. 14, p. 99-105, 1990.

CENTURION, J.F.; ROQUE, C.G.; CENTURION, M.A.P.C.; PRADO, R.M. Manejo mecânico e cultura de cobertura na entrelinha da seringueira (PB 235 e RRIM 701) e os atributos físicos de um latossolo vermelho no Planalto Paulista. R. Árvore, v. 28, n. 1, p. 7-13, 2004.

CEPA. Síntese anual da agricultura de Santa Catarina. Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina/Centro de Socioeconomia e Planejamento Agrícola - Epagri/Cepa, Florianópolis, SC. 2008-2009.

COSTA, M.A.T.; TORMENA, C.A.; LUGÃO, S.M.B.; FIDALSKI, J.; NASCIMENTO, W.G.; MEDEIROS, F.M. Resistência do solo à

penetração e produção de raízes e de forragem em diferentes níveis de intensificação do pastejo. R. Bras. Ci. Solo, v. 36, p. 993-1004, 2012.

CURI, N. (Coord.) Vocabulário de ciência do solo. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. 90p.

DALBÓ, M.A.; VEIGA, M.; GARDIN, J.P.P. Desenvolvimento do sistema radicular da videira em função de porta-enxertos e de atributos físicos e químicos do solo. Agropec. Catarinense, Florianópolis, v. 24, n. 3, p. 59-63, 2011.

De MARIA, I.C.; CASTRO, O.M.; DIAS, H.S. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. R. Bras. Ci. Solo, v. 23, p.703-709, 1999.

DERPSCH, R.; SIDIRAS, N.; ROTH, C.H. Results of studies from 1977 to 1984 to control erosion by cover crops and no-tillage techniques in Parana, Brazil. Soil Till. Res., v.8, p. 253-263, 1986.

ECHENIQUE, M.C.; APCARIAN, A.; REEB, P.; ARUANI, M.C. Growth-yield relationship of grapevine cultivars on soils with hardened layers, Alto Valle of the Río Negro, southern wine-growing region of Argentina. Agric. Técnica (CHILE) v. 67(3), p. 262-270, Julio/Septiembre, 2007.

ELAOD, A.; CHEHAIBI, S. Soil compaction due to tractor traffic. J. of Failure Analysis and prevention, v. 11, p. 539-545, 2011.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise do solo. Rio de Janeiro: Embrapa/CNPS, 1997. 212p. (Documentos, 1).

EMBRAPA. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de Santa Catarina. Rio de Janeiro: Embrapa -CNPS, 1998. CD-ROM (Embrapa -CNPS. Boletim de Pesquisa; n. 6). ISSN 1415-3750

EMBRAPA. Uva e Vinho. Sistema de Produção, 4. Uvas Viníferas para Processamento em Regiões de Clima Temperado. ISSN 1678-8761 Versão Eletrônica Jul. 2003

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Brasília, 2006. 306p.

FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C.; BAILEY, B.A. Role of cover crops in improving soil and row crop productivity. *Soil Sci. Plant Anal.* v. 36, p. 2733-2757, 2005.

FERRERO, A.; USOWICZ, B.; LIPIEC, J. Effects of tractor traffic on spatial variability of soil strength and water content in grass covered and cultivated sloping vineyard. *Soil Till. Res.*, v. 84 p. 127-138, 2005.

FIDALSKI, J.; TORMENA, C.A.; SILVA, A.P. Least limiting water range and physical quality of soil under groundcover management systems in citrus. *Sci. Agric. (Piracicaba, Brazil)*, v. 67, n. 4, p. 448-453, 2010.

FUENTES LLANILLO, R.; RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; GUIMARÃES, M. F.; FERREIRA, R. R. M. Evolução de propriedades físicas do solo em função dos sistemas de manejo em culturas anuais. *Semina: Ci. Agrárias, Londrina*, v. 27, n. 2, p. 205-220, abr./jun, 2006

GENRO JUNIOR, S.A.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Variabilidade temporal da resistência à penetração de um Latossolo argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 28, p. 477-484, 2004.

GUBIANI, P.I; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Método alternativo para a determinação da densidade de partículas do solo - exatidão, precisão e tempo de processamento. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 36, n.2, p.664-668, mar-abr, 2006.

GUGINO, B.K., IDOWU, O.J., SCHINDELBECK, R.R., VAN ES, H.M., WOLFE, D.W., MOEBIUS-CLUNE, B.N., THIES, J.E. AND ABAWI, G.S. *Cornell Soil Health Assessment Training Manual*. Edition 2.0, Cornell University, Geneva, NY. 2009.

HERLIHY, M.; MCCARTHY, J. Association of soil test phosphorus with phosphorus fractions and adsorption characteristics. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. 75, p. 79-90, 2006.

HILLEL, D. Environmental soil physics. New York: Academic Press, 1998. 756 p.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Acessado em março 2013 em:
<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>

KEMPER, W.D., ROSENAU, R.C. Aggregate Stability and Size Distribution. In. KLUTE, A. Ed. Methods of soil analysis – Part 1 – Physical and Mineralogical Methods. Second Edition. Madison: Am. Soc. of Agronomy p. 425-442 (Agronomy, 9), 1986.

KLEIN, V.A.; LIBARDI, P.L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. R. Bras. de Ci. Solo, v. 26, p. 857-867, 2002.

KLEIN, V. A.; VIEIRA, M. L.; DURIGON, F. F.; MASSING, J. P. ; FÁVERO, F. Porosidade de aeração de um Latossolo Vermelho e rendimento de trigo em plantio direto escarificado. R. Ci. Rural, v. 38, n. 2, 2008.

LIBARDI, P.L. Dinâmica da água no solo. Piracicaba: EDUSP, 2005. 335p.

LIMA, C.L.R.; SILVA A.P.; IMHOFF S.; LIMA H.V.; LEÃO T.P. Heterogeneidade da compactação de um latossolo vermelho-amarelo sob pomar de laranja. R. Bras. Ci. Solo, v. 28, p. 409-414, 2004.

LIPIEC, J.; HATANO, R. Quantification of compaction effects on soil physical properties and crop growth. Geoderma, v. 116, p. 107-136, 2003

LUCIANO, R.V. Variabilidade espacial e temporal de atributos do solo e relação com a qualidade da uva para vinificação no Planalto Catarinense. Lages, Centro de Ciências Agroveterinárias / UDESC. 2012. 161 p. (Tese de Doutorado).

NESMITH, D.S. Soil compaction in double cropped wheat and soybean on Ultissol. Soil Sci. Soc. Am. J. v. 51, p. 183-186, 1987.

MELLO, L.M.R. Vitivinicultura Brasileira: Panorama 2009. Acesso em: 28 de maio de 2013. Disponível em: <http://www.cnpuv.embrapa.br/publica/artigos/prodvit2009vf.pdf>.

MEROTTO JUNIOR, A.; MUNDSTOCK, C.M. Wheat root growth as affected by soil strength. R. Bras. Ci. Solo, Viçosa, v. 23, p. 197-202, 1999.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Microbiologia e bioquímica do solo. 2º Edição. Editora UFLA: Lavras, 2006. 729 p.

PANDOLFO, C.; BRAGA, H.J.; SILVA JÚNIOR, V.P.; MASSIGNAM, A.M.; PEREIRA, E.S.; THOMÉ, V.M.R. Atlas climático digital do Estado de Santa Catarina. Florianópolis: Epagri, 2002. CD ROM.

PORTUGAL, A.F.; COSTA, O.D.A.; COSTA, L.M.; SANTOS, B.C.M. Atributos químicos e físicos de um Cambissolo Háplico Tb distrófico sob diferentes usos na Zona da Mata mineira. R. Bras. Ci. Solo, v. 32, p. 249-258, 2008.

PORTUGAL, A.F.; COSTA, O.D.V.; COSTA, L.M. Propriedades físicas e químicas do solo em áreas com sistemas produtivos e mata na região da Zona da Mata mineira. R. Bras. Ci. Solo, v. 34, p. 575-585, 2010.

QUEIROZ-VOLTAN, R.B.; NOGUEIRA, S.S.S.; MIRANDA, M.A.C. Aspectos da estrutura da raiz e do desenvolvimento de plantas de soja em solos compactados. Pesquisa Agropec. Bras., v. 35, p. 929-938, 2000.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. R. Ci. & Ambiente, v. 27, p. 29-48, 2003.

REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: Identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: CERRETA, C.A.; SILVA, L.S.;

REICHERT, J.M. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG, Soc. Bras. de Ci. Solo, v. 5, p. 49-134, 2007.

REINERT, D.J.; ALBUQUERQUE, J.A.; REICHERT, J.M.; AITA, C.; ANDRADA, M.M.C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. R. Bras. Ci. Solo, v. 32, p. 1805-1816, 2008.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Propriedades físicas do solo. UFSM, 2006.

REINERT, D. J.; REICHERT, J.M.; VEIGA, M.; SUZUKI, L.E.A.S. Qualidade física dos solos. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 16, 2006. Anais. Aracaju, Soc. Bras. de Ci. do Solo, 2006. CD-ROM

ROSA J.D.; MAFRA, A.L.; NOHATTO, M.; FERREIRA, E.Z.; OLIVEIRA, O.L.P.; MIQUELUTTI, D.J.; CASSOL, P.C.; MEDEIROS, J.C. Atributos químicos do solo e produtividade de videiras alterados pelo manejo de coberturas verdes na Serra Gaúcha. R. Bras. Ci. Solo, v. 33, p. 179-187, 2009

SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P.C.; FABRÍCIO, A.C.; MACEDO, M.C.M.; BROCH, D.L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. R. Bras. Ci. Solo, v. 32, p. 11-21, 2008.

SANCHES, A.C.; SILVA, A.P.; TORMENA, C.A.; RIGOLIN, A.T. Impacto do cultivo de citros em propriedades químicas, densidade do solo e atividade microbiana de um Podzólico Vermelho-Amarelo. R. Bras. Ci. Solo, v. 23, p. 91-99, 1999.

SANTOS, G.A.S. Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais. In: BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e Função da Matéria Orgânica. Cap. 02, p. 7-16, 2008.

SEIXAS, F.; SOUZA, C. R. Avaliação e efeito da compactação do solo, devido à frequência de tráfego, na produção de madeira de eucalipto. R. Árvore, Viçosa, v. 31, p. 1047-1052, 2007.

SILVA, M.A.S.; MAFRA, A.L.; ALBUQUERQUE, J.A.; ROSA, J.D.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Propriedades físicas e teor de carbono

orgânico de um Argissolo Vermelho sob distintos sistemas de uso e manejo. R. Bras. Ci. Solo, v. 30, p. 327-337, 2006.

SNEDECOR, W.; COCHRAN, W. G. Statistical methods. 8. ed. Ames: Iowa State University Press, 1989. 502 p.

SOUSA, J.S.I.; MARTINS, F.P. Viticultura Brasileira: principais variedades e suas características. Piracicaba: FEALQ, 2002.

SUZUKI, L.E.A.S. Compactação do solo e sua influência nas propriedades físicas. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2005. 149p. (Dissertação de Mestrado).

TAYLOR, H.M.; ROBERTSON, G.M.; PARKER, J.J. Soil strength root penetration relations for medium to coarse textured soil materials. Soil Sci., v. 102, p. 18-22, 1966.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. Análise de solo, plantas e outros materiais. 2ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174 p. (Boletim Técnico, 5).

TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. J. of Soil Sci. V. 33, p. 141-164, 1982.

TORMENA, C.A.; ROLOFF, G.; SÁ, J.C.M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. R. Bras. Ci. Solo, v. 22, p. 301-309, 1998.

VAN DIJCK, S.J.E.; VAN ASCH, Th.W.J. Compaction of loamy soils due to tractor traffic in vineyards and orchards and its effect on infiltration in southern France. Soil Till. Res. v. 63. p. 141-153. 2002.

VAN LIER, J.Q. Oxigenação do sistema radicular: uma abordagem física. R. Bras.Ci. Solo, v. 25, p. 233-238, 2001.

VEIGA, M. Compactação: princípios, níveis críticos, formas de determinação e de prevenção. R. Plantio Direto, p. 12-19, março/abril, 2009.

VEIGA, M. Metodologias para coleta de amostras e análises físicas do solo. Florianópolis: Epagri, 2011. 52 p. (Epagri. Boletim Técnico, 156).

VOCANSON A.; ROGER-ESTRADE J.; BOIZARD H.; JEUFFROY M.H. Effects of soil structure on root development of pea (*Pisum sativum* L.) according to the sowing date and the cultivar. *Plant and Soil*, v. 281, p. 121-135, 2006.

XU, X.; NIEBER, J.L.; GUPTA, S.C. Compaction effects on the gas diffusion coefficients in soils. *Soil Sci. Soc. of Am. J.*, v. 56, n. 6, p. 1743-1750, 1992.